

JOURNAL OF THE RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY,
NIHON UNIVERSITY.

No. 2, July, 1951

日 本 大 學
工 學 研 究 所 彙 報

第 2 號

目 次

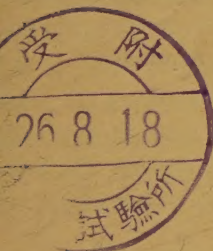
論 文

	頁
大阪管内の電子運動 (その2 動特性)	岡 部 隆 博 1
非直線要素を使用せる對過大電流保護回路	石 井 好 隆 7
アンモニア吸收冷凍機の熱力學的性能 (第1報)	栗 野 誠 一 10
土の突き固めに對する粗骨材の影響	卷 内 一 夫 25

紹 介

オリュントス市とその住宅	小 林 文 次 33
--------------	------------

昭和 26 年 7 月



U. of ILL. LIBRARY

AUG 7 1972

CHICAGO CIRCLE

**JOURNAL OF THE RESEARCH INSTITUTE OF TECHNOLOGY,
NIHON UNIVERSITY.**

NO. 2

JULY, 1951

CONTENTS

Technical Papers

- Electron Motion in an "OSAKA Tube" *By T. Okabe* 1
- Circuit Utilizing Non-linear Elements for Protection Against the Over-current
..... *By K. Ishii* 7
- Thermodynamical Performances of Ammonia Absorption Refrigerator
..... *By S. Awano* 10
- Effect of Coarse Material on the Compaction Test of Soil
..... *By K. Makiuchi* 25

Introduction of Technical Papers

- Olynthus City and the Houses *By B. Kobayashi* 33

These publications are issued at irregular intervals. The authors alone are responsible for the contents of these reports.

大阪管内の電子運動 (その2 動特性)

(1950 年 12 月 15 日受理)

岡 部 隆 博¹⁾

Electron Motion in an "OSAKA Tube"

(Part. 2. Dynamic Characteristics)

By Takahiro OKABE

The high-frequency potential distribution was evaluated by means of conformal representation. The process is shown in Figs. 1 to 7, and in Equations (1) to (18). Eq. (18) and Fig. 7 show the final, required results. High-frequency potential distribution along the centre axis, xx , and on a line, $y=2 \times 10^{-2} m$ in Fig. 1, are shown in Figs. 8 and 9, respectively. By means of linear combination of static and high-frequency potential, the dynamic potential distribution has been derived as shown in Eq. (21)

Under a sufficiently strong magnetic field, the trajectory of an electron becomes parallel to the centre axis, xx , as shown in the static characteristics, which have been described previously. In the dynamic case, however, the electron is influenced by the high frequency, and its behavior is different from that in the static case. The deviation due to the retarding effect of the high-frequency field was calculated during the initial half cycle and plotted in Fig. 10. For large values of t , the trajectories are given by Eqs. (39), (43), (46), and (48), respectively. This was the first time that the gap coefficients were calculated. They were 0.5477 and 0.930 on the centre line, xx , and on the neighbouring line, $y=2 \times 10^{-3} m$, of the gap, respectively. This result showed that the Osaka Tube—whose gap does not absorb electrons—has gap coefficients which are almost equal to those of the Klystron. Another revelation which has been clarified quantitatively is that the electron should be driven along a line which is in the neighbourhood of the gap, rather than along the centre line for effective results.

本研究は文部省科学研究費により、行はれたものである

1. 緒 言

前に超高周波の存在していない静特性に就て記したがここでは、超高周波電圧が電極間に存在している場合の動特性に就て述べる。

其の1. 静特性に於て述べた双曲線壱電極大阪管を採り、此の電極間の動的電場を計算し、その下に於ける電子運動の二三の例を示し尚間隙係数を計算した。

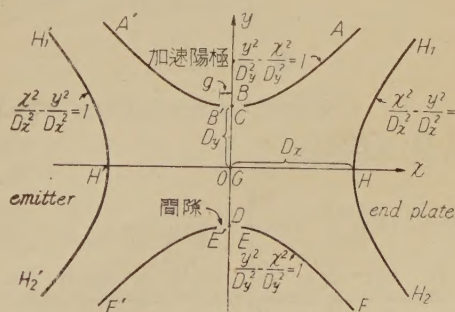
2. 双曲線壱電極大阪管内の動的電位分布

双曲線壱電極大阪管内の動的電位分布を求めるために、まず、その高周波成分に就てのみ考える。

双曲線壱電極を第1圖の如く配置し、各部の Dimension を圖の如く定め、此の平面を Z 平面とする。圖に於て、間隙を境として右側と左側とは何時も 180° の位相差のある電位を持ち、且つ BAH_1HH_2FE は高周波的に等電位線上にあり、 $B'A'H_1H'H_2F'E'$ も同様とすると、等電位線は y 軸に關して對稱となる。そこで、今右半分を採りその中の電位分布を調べる。

Z -平面を自乗することにより、第2圖に示す Z_1 -平面を得る。

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= Z^2 \\ x_1 &= x^2 - y^2 \\ y_1 &= 2xy \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

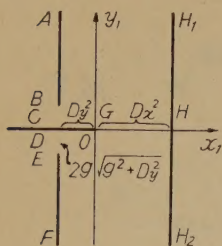


第 1 圖

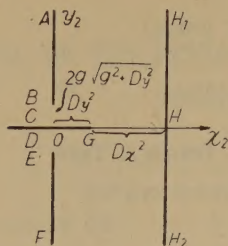
次に原点を左に D_y^0 だけ平行移動し、 Z_2 -平面を得る。

$$\left. \begin{aligned} Z_2 &= Z_1 + D_y^0 \\ x_2 &= x_1 + D_y^0 \\ y_2 &= y_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

1) 工學部電氣工學科助教授



第 2 圖



第 3 圖

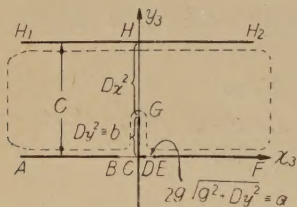
次に、正方向に $\frac{\pi}{2}$ だけ廻轉すると Z_3 -平面が得られる。

$$\left. \begin{aligned} Z_3 &= jZ_2 \\ x_3 &= -y_2 \\ y_3 &= x_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

次に ζ -平面を第 5 圖の如く定め、これと Z_3 -平面との寫像函數を Schwarz-Christoffel の變換により求めるために、圖の點線の如き多角形を考える。そして變換式を立てると先づ

$$\frac{dZ_3}{d\zeta} = \frac{C_1 \zeta}{(\zeta^2 - \xi_0^2) \sqrt{\zeta^2 - 1}} \dots\dots\dots (4)$$

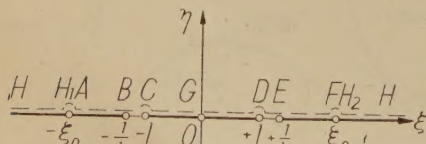
となる。茲で C_1, ξ_0 は境界條件に依り定まる定數である。



第 4 圖

$$\sqrt{\zeta^2 - 1} \equiv \tau \dots\dots\dots (5)$$

と置き (4) を積分し



第 5 圖

F 點に於ける境界條件…… ξ_0 點の周りを 180° まわる間に z_3 -平面では、 F 點から H_2 點まで移る。

H 點に於ける境界條件…… $\xi \rightarrow \infty$ が、 Z_3 -平面の jC に對應する。

G 點に於ける境界條件…… $\zeta=0$ が、 z_3 -平面の $j b$ に對應

する。これ等の條件を入れると

$$z_3 = -\frac{c}{\pi} \log \frac{\tau - F}{\tau + F} + jC \dots\dots\dots (6)$$

を得る。但し

$$C = Dx^2 + Dy^2 \dots\dots\dots (7)$$

$$F = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + \tan^2(1 - \frac{c}{b}) \pi}}{\tan(1 - \frac{c}{b}) \pi} \dots\dots\dots (8)$$

$$d = Dy^2 \dots\dots\dots (9)$$

であり、第 5 圖で假定された ξ_0 は

$$\xi_0 = \pm \sqrt{1 + F^2} \dots\dots\dots (10)$$

であることがわかる。

E 點に於ては、 $z_3 = a$ が $\zeta = \frac{1}{k}$ に對應するから、これを (6) に入れると

$$\frac{1}{k} = \sqrt{1 + \left(\frac{1 - \epsilon - \frac{a}{c} \pi}{1 + \epsilon - \frac{a}{c} \pi} F \right)^2} \dots\dots (11)$$

となり $1/k$ の値が定まる。但し第 7 圖の如き寸法の場合には $k=0.9867$ となる。茲で

$$a \equiv 2g\sqrt{g^2 + Dy^2} \dots\dots\dots (12)$$

としてある。

(6) を (5) に代入し、 ζ に就て解くと

$$\zeta^2 = 1 + \left\{ \frac{1 + \epsilon - \frac{a}{c} \pi}{1 - \epsilon - \frac{a}{c} \pi} F \right\}^2 F^2 \dots\dots (13)$$

となり、 z_3 -平面から ζ -平面への寫像函數が得られた。

實際に ζ -平面上の圖形を、 z_3 -平面上に寫像する場合の便宜のために (6) を實數部分と虚數部分とに分けると

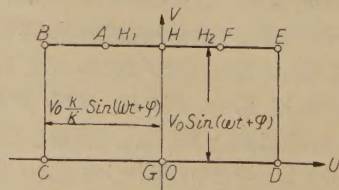
$$\left. \begin{aligned} x_3 &= -\frac{c}{2\pi} \log \frac{(P^2 - F^2 + Q^2)^2 + 4Q^2 F^2}{\{(P + F)^2 + Q^2\}^2} \\ y_3 &= C \left(1 - \frac{1}{\pi} \tan^{-1} \frac{2QF}{P^2 - F^2 + Q^2} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots (14)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{但し、} \quad P &\equiv \xi \eta \\ Q &\equiv 1 - \frac{1}{2} (\zeta^2 - \eta^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

である。この間に (5) より得らるる

$$\tau = j(1 - \frac{1}{2} \zeta^2) \dots\dots\dots (16)$$

なる假定をしているから、(14) は $|\zeta| < 1$ なる範圍で



第 6 圖

は信頼度が比較的高い。

次に ζ -平面と第6圖に示された W -平面との関係は周知の如く Sn 函数となり、虚軸は電位を表はし $V_0 \sin(\omega t + \varphi)$ で變化して居るとする。従つて

$$\zeta = Sn\left(\frac{K'}{V_0 \sin(\omega t + \varphi)} W, k\right) \dots \dots \dots (17)$$

茲で K, K' は第一種の完全楕圓積分である。第7圖の電極寸法の場合は $K=3.21, K'=1.58$ である。

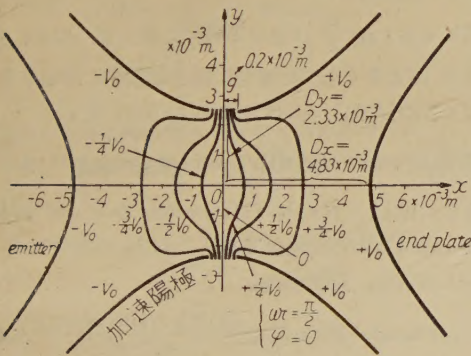
従つて (17), (13), (3), (2) 及び (1) を用いて, ζ -平面と W -平面とを結ぶ函数を求めると

$$Sn^2\left(\frac{K'}{V_0 \sin(\omega t + \varphi)} W, k\right) = 1 + \left\{ \frac{1 + \varepsilon j \left(1 - \frac{z^2 + D_y^2}{c}\right)}{1 - \varepsilon j \left(1 - \frac{z^2 + D_y^2}{c}\right)} \right\}^2 F^2 \dots (18)$$

茲で, $W = U + jV$

となつて、これが求める双曲線電極大阪管内の動的電位分布の高周波成分である。實際に、或一定の時刻に於ける電位分布の模様を計算し圖示してみると靜特性の場合の第5圖に對應して第7圖を得る。

中心軸、即ち φ 軸上及び間隙の近傍即ち $y = 2 \times 10^{-3}m$



第 7 圖

線上の高周波の電位分布を圖示すると第8圖及び第9圖の如くなりそれ等は近似的に中心軸上では

$$V_{hf, y=0} = V_0 \sin \frac{\pi x}{2D_x} \sin(\omega t + \varphi) \dots \dots \dots (19)$$

$y = 2 \times 10^{-3}m$ 線上(間隙の近傍)では

$$V_{hf, y=2 \times 10^{-3}} = 6 V_0 x^{\frac{1}{3}} \sin(\omega t + \varphi) \dots (20)$$

で示されることが同圖から判明する。圖中の V は、(18) 式から得られた電位である。

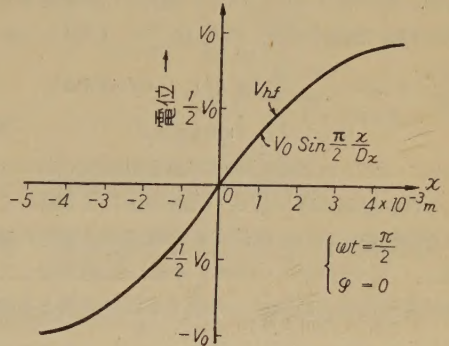
従つて (18) 式から得られた電位, $V_{hf}(xy)$ と、靜特性の章に於て與えて置いた靜的電位分布とを重疊することにより動的電位分布は

$$V = -\frac{V_s}{D_x^2} x^2 + \frac{V_P}{D_y^2} y^2 + V_{hf}(x, y) \dots (21)$$

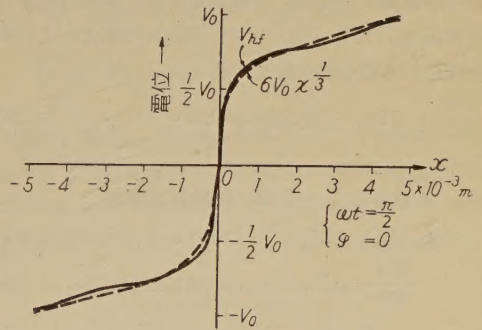
となる。

3. 双曲線電極大阪管内の動的電子運動

標題の電極にて高周波電位分布を靜적の場合に重疊し



第 8 圖



第 9 圖

て、電子一個の運動方程式を立てると

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{2e}{m} \frac{V_s}{D_x^2} x + \frac{e}{m} \frac{\partial}{\partial x} V_{hf}(x, y) \dots \dots \dots (22)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{2e V_P}{m D_y^2} y + \frac{e}{m} \frac{\partial}{\partial y} V_{hf}(x, y) - \frac{Be}{m} \frac{dz}{dt} \dots \dots \dots (23)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = \frac{Be}{m} \frac{dy}{dt} \dots \dots \dots (24)$$

となるが、靜特性の場合の第7圖に於て示した如く充分に磁界を強くすると電子運動は次第に x 軸に平行な運動をする様になる。その場合には (22) のみが特に問題となる。

$$\frac{2e}{m} \frac{V_s}{D_x^2} \equiv \omega_0^2 = (4 \times 10^9)^2$$

$$[f = 637 MC. \lambda = 47.1 cm] \dots \dots \dots (25)$$

とおけばは靜特性に於ける角周波數であることは前に述

べた通りである。

(22) は次の如く書き換えられる。

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = \frac{e}{m} \frac{\partial}{\partial x} V_{hf}(x, y) \dots (26)$$

ここに入つて来る y は前述の假定に依り x 及び t に對して、常數の如く振舞うことは勿論である。この式の中の $V_{hf}(xy)$ は (19), (20) 等で與えられるのであるが、これ等の式の中で $\sin(\omega t + \varphi)$ 以外の部分をまとめて $[g(x)]_{y=l}$ で表はせば、(26) は

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x &= \frac{e}{m} \frac{\partial}{\partial x} [g(x)]_{y=l} \sin(\omega t + \varphi) \\ &\equiv [f(x)]_{y=l} \sin(\omega t + \varphi) \dots (27) \end{aligned}$$

となる。(27) は強制振動の非線型方程式であつて、一般にこれを既知函數に依る一般的方法により解くことは容易ではない。これを積分するに當つては靜的の場合に對應し、電子経路の一往路を詳細に數値積分したものと動的電子運動を概觀的に考察する爲の資料とを次に示す。

(I) 詳細な積分

電子が電界に energy を與えるには、高周波電界の角周波數が ω_0 に等しく且つ $\varphi = \pi$ であれば都合がよいので其の場合を考えると (27) は

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = -[f(x)]_{y=l} \sin \omega t \dots (28)$$

となる。

(i) 中心軸上 ($y=0$ m) に於ける考察

ここでは (19), (27) 等により (28) は次の様になる

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = -a \cos px \sin \omega_0 t \dots (29)$$

$$\text{但し, } a = \frac{\pi}{2} \frac{eV_0}{mD_x} = 11.4538 \times 10^{14}$$

$$(V_0 = 20 \text{ Volts}) \dots (30)$$

$$p = \frac{\pi}{2D_x} = 3.2521 \times 10^2 \dots (31)$$

(29) を半周期にわたつて第一次近似の數値積分法に依つて積分し、得られた座標 x_{st} と靜待性より與えられる座標 x_0 との差 $(x_s - x_0)$ の時間に對する關係を圖示すると第10圖の如くなる。これに依るとこの程度の時間の範圍内に於ける靜的の場合よりの Deviation の最大値は、1.6% である。

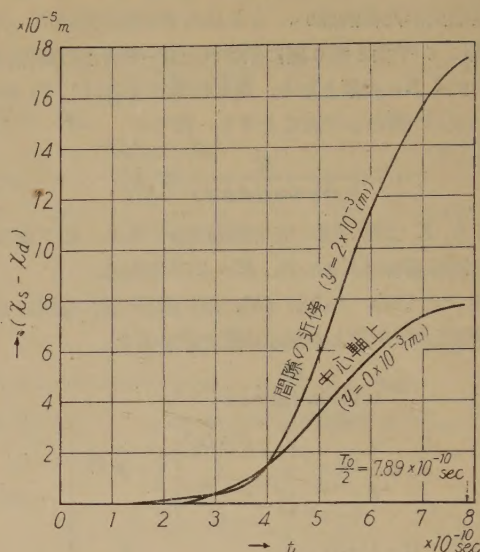
(ii) 間隙の近傍 ($y=2 \times 10^{-3}$ m) における考察

この場合も前と同様にして (27) は

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = -2 \frac{eV_0}{m} x^{-\frac{2}{3}} \sin \omega_0 t \dots (32)$$

$$\text{但し } 2 \frac{eV_0}{m} = 7.044 \times 10^{12} (V_0 = 20 \text{ Volts}) \dots (33)$$

となり、第一次近似の數値積分法を用いて前と同様にす



第 10 圖

ると第10圖の如くなる。靜的の場合よりの Deviation の最大値は 3.3% である。これは中心軸上に於ける場合の約2倍である。

(II) 概觀的考察

前に $0 \leq t \leq \frac{T_0}{2}$ に於ける特性に就て述べたが、ここでは t が大きくなつた場合に就き概觀的に考察する。

(27) 式の $[f(x)]_{y=l}$ の代りに $[f(x)]_{y=l}$ を探ると

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = [f(x)]_{y=l} \sin(\omega t + \varphi) \dots (34)$$

となる。但し、 $[f(x)]_{y=l}$ は、emitter から end plateまでの $[f(x)]_{y=l}$ の平均値である。 $\omega \neq \omega_0$ の場合は

(34) の解は、周知の如く

$$x = A \cos \omega_0 t + B \sin \omega_0 t + \frac{[f(x)]_{y=l} \sin(\omega t + \varphi)}{\omega_0^2 - \omega^2} \dots (35)$$

$\omega = \omega_0$ の場合は

$$x = A \cos \omega_0 t + B \sin \omega_0 t + \frac{[f(x)]_{y=l} t \cos(\omega_0 t + \varphi)}{2\omega_0} \dots (36)$$

となる。以下 (36) を吟味する。

(i) 中心軸 ($y=0$) 上の運動

$$(19) \text{ 及び } (27) \text{ より, } [f(x)]_{y=l} = \frac{eV_0}{mD_x} \dots (37)$$

となり (36) に初期條件

$$[x]_{t=0} = -D_x, \quad \left[\frac{dx}{dt} \right]_{t=0} = 0$$

を入れて

$$\begin{aligned} x &= -D_x \cos \omega_0 t + \frac{eV_0 \cos \varphi}{2\omega_0^2 D_x m} \sin \omega_0 t \\ &\quad - \frac{eV_0 t}{2D_x m \omega_0} \cos(\omega_0 t + \varphi) \dots (38) \end{aligned}$$

この第一項は静特性の場合と等しい。電子が電界に *energy* を何時でも与える位相は $\varphi = \pi$ であるから、この場合 (38) は

$$x = -\left(D_x - \frac{eV_0 t}{2D_x m \omega_0}\right) \cos \omega_0 t - \frac{eV_0}{2D_x m \omega_0^2} \sin \omega_0 t \dots\dots\dots (39)$$

となる。そして $D_x = 4.83 \times 10^{-3}$ (m)

$$V_0 = 20 \quad (\text{Volts})$$

であるから $\omega_0 = 4 \times 10^9$ (rad/sec)

$$\frac{eV_0}{2D_x m \omega_0^2} = 0.023 \times 10^{-3} (m) < D_x \dots\dots (40)$$

となり、(39) は t のあまり大きくない範囲では、

$$x \doteq -\left(D_x - \frac{eV_0 t}{2D_x m \omega_0}\right) \cos \omega_0 t \dots\dots\dots (41)$$

となり、振幅は時間と共に減少することがわかる。そして振幅が、殆ど 0 になるに要する時間は大體

$$t \doteq \frac{2D_x^2 m \omega_0}{eV_0} = 0.052 (\mu s) \dots\dots\dots (42)$$

電子が何時でも電界から *energy* を受ける位相は $\varphi = 0$ であるから、(36) は前と同じ初期条件によりとなつて

$$x = -\left(D_x + \frac{eV_0 t}{2D_x m \omega_0}\right) \cos \omega_0 t + \frac{eV_0}{2D_x m \omega_0^2} \sin \omega_0 t \dots\dots\dots (43)$$

振幅は時間と共に増大することがわかる。

(ii) 間隙の近傍 ($y = 2 \times 10^{-3}$ m) に於ける考察

(20) より

$$[f(\tilde{x})]_{y=2 \times 10^{-3}} = \frac{6eV_0}{m[x_0]_{y=2 \times 10^{-3}}^{\frac{2}{3}}} \dots\dots (44)$$

$$\text{茲で } [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}} = \sqrt{D_x^2 + (2 \times 10^{-3})^2} = 5.2277 \times 10^{-3} (m) \dots\dots\dots (45)$$

であり、初期条件

$$\begin{cases} [x]_{t=0} = -[x_0]_{y=2 \times 10^{-3}} \\ \left[\frac{dx}{dt}\right]_{t=0} = 0 \end{cases}$$

を (36) に、 $\varphi = \pi$ として入れると

$$x = -\left\{ [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}} - \frac{3eV_0 t}{\omega_0 [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}}^{\frac{2}{3}} m} \right\} \cos \omega_0 t - \frac{3eV_0 \sin \omega_0 t}{m \omega_0^2 [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}}^{\frac{2}{3}}} \dots\dots\dots (46)$$

となり振幅は時間と共に減少することがわかる。そして

振幅が殆ど、0 になるまでに要する時間は前と同様にして

$$t \doteq \frac{m \omega_0 [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}}^{\frac{2}{3}}}{3eV_0} = 0.059 (\mu s) \dots\dots\dots (47)$$

となり中心軸上に於けるものはこれの 89 % である。

次に電子が何時でも電界から *energy* を受ける場合は、 $\varphi = 0$ において (36) より前と同様にして

$$x = -\left\{ [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}} + \frac{3eV_0 t}{m \omega_0 [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}}^{\frac{2}{3}}} \right\} \cos \omega_0 t + \frac{3eV_0}{m \omega_0^2 [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}}^{\frac{2}{3}}} \sin \omega_0 t \dots\dots (48)$$

となつて振幅は時間と共に増加する。

4. 双曲線壕電極大阪管の間隙係数

双曲線壕電極大阪管の間隙係数を求める爲に、電子が高周波電界に *Energy* を与える場合を考える。

電子が *emitter* から出て *end plate* に到達するまでに *field* に與える *energy* の大きさは

$$\left| \int_{-x_0}^{x_0} [g'(x)]_{y=l} \sin \omega_0 t dx \right| \quad \text{eletron volts} \dots\dots (49)$$

であり、電子が *transit time* なしで *emitter* から *end plate* まで突然移つたとすれば、その *energy* は $2V_0$ *electron volts* である。 $[g(x)]_{y=l}$ 及び V_0 は前節で與えられたものと同意義である。従つて間隙係数は

$$\beta = \frac{1}{2V_0} \left| \int_{-x_0}^{x_0} [g'(x)]_{y=l} \sin \omega_0 t dx \right| \dots\dots\dots (50)$$

しかるに静特性で與えた様に $x = -x_0 \cos \omega_0 t \dots\dots (51)$

なる故 $\sin \omega_0 t = \frac{1}{x_0} \sqrt{x_0^2 - x^2} \dots\dots\dots (52)$

そして電界は y 軸の兩側で對稱なる故

$$\beta = -\frac{1}{V_0 x_0} \int_0^{x_0} [g'(x)]_{y=l} \sqrt{x_0^2 - x^2} dx \dots\dots\dots (53)$$

(i) 中心軸上の間隙係数

(19), (27) より

$$[g'(x)]_{y=0} = p V_0 \cos px \dots\dots\dots (54)$$

ここで、 p , V_0 は (30), (31) で與えられている。又この場合 $x_0 = D_x \dots\dots\dots (55)$

なる故、(53) より

$$\beta = \frac{1}{V_0 D_x} \int_0^{D_x} V_0 \cos px \sqrt{D_x^2 - x^2} dx \dots\dots (56)$$

ここで $x \equiv D_x \sin z \dots\dots\dots (57)$

なる變數變換を施し、

$$\cos(x \sin \varphi) = J_0(x) + 2 \sum_{m=1}^{\infty} J_{2m}(x) \cos 2m\varphi \dots (58)$$

なる公式を用いて積分すると

$$\beta = \frac{\pi^2}{8} J_0\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0.5477 \dots (59)$$

を得る。(59)に依れば振幅は β に無関係なる故、(41)に従つて振幅が減少しても間隙係数は變らない。

(ii) 間隙の近傍に於ける間隙係数($y=2 \times 10^{-3} \text{ m}$)
(20), (27) より

$$[g'(x)]_{y=2 \times 10^{-3}} = 2 V_0 x^{-\frac{2}{3}} \dots (60)$$

$$[x_0]_{y=2 \times 10^{-3}} = \sqrt{D_x^2 + (2 \times 10^{-3})^2} = 5.2277 \times 10^{-3} (m) \dots (61)$$

(53) より

$$\beta = \frac{1}{V_0 [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}}} \int_0^{[x_0]_{y=2 \times 10^{-3}}} 2 V_0 x^{-\frac{2}{3}} \sqrt{[x_0]_{y=2 \times 10^{-3}}^2 - x^2} dx \dots (62)$$

$$\text{ここで } x = [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}} \sin z \dots (63)$$

なる變數變換を施し

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin n z dz = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}+1\right)}, \quad n > -1 \dots (64)$$

なる公式を用いて積分すると

$$\beta = 2 \left\{ \frac{\Gamma\left(\frac{1}{6}\right)}{\Gamma\left(\frac{2}{3}\right)} - \frac{\Gamma\left(\frac{7}{6}\right)}{\Gamma\left(\frac{5}{3}\right)} \right\} \left\{ \frac{\sqrt{\pi}}{2} [x_0]_{y=2 \times 10^{-3}}^{\frac{1}{3}} \right\} = 0.930 \dots (65)$$

となる。(65)の中の x_0 としては(46)式に従つて減少した後の値を採つても(65)の型になることは明らかであるが、其の場合 β は $x_0^{\frac{1}{3}}$ に比例して減少する。

これは中心軸上に於ける β と大いに異なる點である。例えば高周波電圧が0から半値までの範圍に振幅が減少した場合は、(20)より明らかな如く $x_0 = 0.3 \times 10^{-3} (m)$ となつて β は0.358である。

5. 結 言

以上で双曲線電極大阪管内の電子運動を示したが電子が加速される受信検波の場合、及び減速される發振と増幅の場合も電子が emitter から出てからの半周期の間では靜特性の場合と徑路は大差ないが、時間がたつと著しくかわることが判明した。

大阪管はクライストロンに比して間隙に網が無いので電子を消費することなく効果的であるが、ただ間隙係数が小さいのではないかと考えられて來たが、この計算に依るとクライストロンと大差ないことが初めて明らかになった。

電子は中心軸上に近く行動せしめるよりも間隙の近傍で行動せしめる方がより効果的である事も定量的に判明した。

本研究は阪大岡部教授より依頼され、東北大拔山教授及び宇田教授の御指導により行つた。

終りに、終始熱心に計算及び作圖して下さつた本學石井好隆助手に深く感謝する。

又積分に関しては、度々本學那波教授に御教授を受けた。あわせて厚く感謝する。

参考文献

1. 岡部 隆 博 日本大學工學研究所彙報第1號 p1.
2. 宮本 慶 巳 二次元問題 (修教社)
3. 宇田新太郎 超高周波電子管 (修教社) p7.
4. レヴィ・パゴット, 雨宮綾夫譯

微分方程式の數値解法

非直線要素を使用せる對過大電流保護回路

(1951年1月11日受理)

石 井 好 隆¹⁾

Circuit Utilizing Non-linear Elements for Protection Against the Over-current.

By Koryu ISHII.

The general relation between a line current I_L and a current I_g through a load R_g , which is under protection as shown in Fig. 1, is analyzed. The result is given by Eqs. (6) and (7).

In case the non-linear elements have characteristics satisfying the "square law" the above results are given by Equation (22).

An ammeter of an universal circuit tester is taken for one test example. This meter is protected from an over current of 1000 times of the full-scale current by means of this protecting circuit.

A characteristic curve of over-current suppressing effect is shown in Fig. 3.

The error due to the use of this circuit is -0.225% and it does not exceed -0.525% even under a temperature rise possible in practical use. This circuit was granted Patent No. 183858 by the Japanese Government.

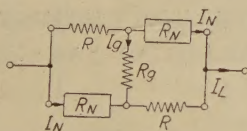
1. 緒 言

電流計や繼電器等の機器を突發的に生ずる過大電流から保護することは、從來より種々工夫されていたが、保護回路に非直線要素を特別な方法で採用することに依り、安全度に於て從來のものより大なる結果が得られたので報告する。

2. 回路と理論

(I) 直流に對する考察

基本回路は第1圖の如き回路である。圖に於て R_g は被保護機器の等價抵抗を示し、 R , R_N は直線及び非直線抵抗要素である。電流を圖の如く定め此の電橋の對邊の特性は全く等しいとすれば、次の關係を得ることは周知の事實である。



第 1 圖

$$I_g = \frac{n-l}{1+l} I_N \dots\dots\dots (1)$$

$$I_L = \frac{n+1+2l}{1+l} I_N \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{但し } l = \frac{R_g}{R} \dots\dots\dots (3)$$

$$n = \frac{R_N}{R} \dots\dots\dots (4)$$

である。そして R_N は一般に I_N の函數となるから

$$R_N = f(I_N) \dots\dots\dots (5)$$

と書ける。(5) を (4), (1), (2) に代入することにより

$$I_g = \frac{n(I_N)-1}{1+l} I_N \dots\dots\dots (6)$$

$$I_L = \frac{n(I_N)+1+2l}{1+l} I_N \dots\dots\dots (7)$$

となり、(6) (7) より I_N を消去して I_g と I_L の直接の關係式を得る。一般の非直線要素に於て $n(I_N)$ の型に依つては消去することが困難な場合が多いが、その時は I_N を媒介變數として取り扱えばよい。

今何等かの原因で I_L が増大した場合に R_g に流れる電流の最大値 I_{gmax} を求める爲に、(6) (7) より

$\frac{dI_g}{dI_L}$ を求めると

$$\frac{dI_g}{dI_L} = \frac{I_N n'(I_N) + n(I_N) - 1}{I_N n'(I_N) + n(I_N) + 1 + 2l} \dots\dots (8)$$

となる。従つて I_{gmax} に對應する I_N を \hat{I}_N とすれば

$$\hat{I}_N n'(\hat{I}_N) + n(\hat{I}_N) = 1 \dots\dots\dots (9)$$

となる。この關係を満足する \hat{I}_N を (7) に代入すれば、 I_{gmax} に對應する I_L が求まる。又、 $I_g = 0$ なる爲には (6) より

$$I_N = 0 \dots\dots\dots (10)$$

又は

$$n(I_N) - 1 = 0. \dots\dots\dots (11)$$

である。(10) は $I_L = 0$ の時に満足され (11) を満足する I_N を I_{No} とすれば、それに對應する I_{Lo} は (7) より

$$I_{Lo} = 2 I_{No} \dots\dots\dots (12)$$

となり安全度 S は次式で定義される。

$$S = \frac{2 \cdot I_{Lo}}{I_R} = 4 \frac{I_{No}}{I_R} \dots\dots\dots (13)$$

但し I_R は、被保護物の定格電流であり $I_R = I_{gmax}$ とした時には

$$S = \frac{4(1+l)}{n(\hat{I}_N)-1} \frac{I_{No}}{\hat{I}_N} \dots \dots \dots (14)$$

である。

次に一例として

$$I_N = k E_N^2 \dots \dots \dots (15)$$

で與えられる場合を考える。但し k は R_N の性質に依り定まる定數で E_N は電流が I_N の場合に R_N の兩端にかかる電壓である。

$$\text{この場合(5)は} \quad R_N = \frac{V_N}{I_N} = \frac{1}{\sqrt{k} I_N} \dots (16)$$

となる。従つて (4) より

$$n(I_N) = \frac{1}{R\sqrt{k} I_N} \dots (17)$$

以下簡単にする爲に $n(I_N)$ の代りに n と書くことにする。

(17) を自乗し、その中の I_N に、(7) を I_N に就て解いた結果を入れて整理すると

$$P(1+l) I_L n^2 - n - (1+2l) = 0 \dots \dots (18)$$

$$\text{となる。茲で} \quad P \equiv k R^2 \dots \dots \dots (19)$$

である。

$$\therefore n = \frac{1 + \sqrt{1 + 4P(1+l)(1+2l) I_L}}{2P(1+l) I_L} \dots (20)$$

(18) を n に就て解く時に現はれる負號は、 $n < 0$ ならしめ物理的に無意味なる故採用しない。

(6) (7) より

$$I_g = \frac{n-1}{n+1+2l} I_L \dots \dots \dots (21)$$

となるからこれに (20) を代入すると

$$I_g = \frac{1 + \sqrt{1 + 4P(1+l)(1+2l) I_L}}{1 + \sqrt{1 + 4P(1+l)(1+2l) I_L}} \cdot \frac{-2P(1+l) I_L}{+2P(1+l)(1+2l) I_L} \cdot I_L \dots (22)$$

となる。

次に、 I_{gmax} 及びこれに對する Line Current \hat{I}_L を求める。(17) を (9) に入れると

$$\hat{I}_N = \frac{1}{4P} \dots \dots \dots (23)$$

となる。これを (17) に入れると

$$n = 2 \dots \dots \dots (24)$$

となり、(23) (24) を (6) (7) に入れると

$$I_{gmax} = \frac{1}{4P(1+l)} \dots \dots \dots (25)$$

$$\hat{I}_L = \frac{3+2l}{4P(1+l)} \dots \dots \dots (26)$$

$$\therefore \frac{\hat{I}_L}{I_{gmax}} = 3+2l \dots \dots \dots (27)$$

となる。即ち第1圖の如き保護回路に、非直線要素として電流が電壓の自乗に比例する要素を使用した場合には、被保護物に流れる電流の最大値とそれに對應する

Line Current との比は非直線要素には無關係である。

次に (11) に (17) を入れ I_{No} を求めると

$$I_{No} = \frac{1}{P} \dots \dots \dots (28)$$

となり、これを (17) に入れると

$$n(I_{No}) = 1 \dots \dots \dots (29)$$

となり、(28) を (15) に入れると安全度は

$$S = \frac{4}{P I_E} \dots \dots \dots (30)$$

である。

(II) 交流に對する考察

Reactive Component があまり大きくない周波數に於いて上記の理論と大體同様である。

3. 電流計に應用した場合の設計

A) 設計の順序と方法

本回路を比較的必要の多い電流計の保護に應用した場合の設計に就て述べる。

1) 保護せらるべき電流計が與えられると、其の内部抵抗 R_g 、定格電流 I_R が定まる。

2) 與えられた電流計の、電氣的並びに機械的強度により

$$I_{gmax} = \alpha I_R \dots \dots \dots (31)$$

が與えられる。

3) \hat{I}_N の値を假定し (6) より得られる

$$l = \{n(\hat{I}_N) - 1\} \frac{\hat{I}_N}{I_g} - 1 \dots \dots \dots (32)$$

により l が定められる。

$$4) (3) \text{より} \quad R = \frac{R_g}{l} \dots \dots \dots (33)$$

より R が定まる。

5) (4) と (11) より I_{No} が定まり、(13) により S を求め、所期の値を得なかつたならば 3) からやり直す。

電流が電壓の自乗に比例する非直線要素を用いた場合には、 S が與えられれば (30) より P が與えられそれを (25) に代入すると

$$l = \frac{S}{16\alpha} - 1 \dots \dots \dots (34)$$

となる。 α の値としては普通 10 が用いられるからその場合は (33) と (34) より

$$R = \frac{160 R_g}{S - 160} : \dots \dots \dots (35)$$

となる。

B) 誤差

(6) (7) より明らかな如く、 I_g と I_L の關係は直線的でないから保護せらるべき計器に新に目盛をする場合は別として、既設の目盛を其のままにしておいた場合には多少の誤差を生ずる。これを定量的に検討してみる。

保護回路を取り付けたために生ずる誤差を

$$\varepsilon = \frac{I_{GR} - I_R}{I_R} \times 100 (\%) \dots \dots (36)$$

で定義すれば、(7) の I_L を I_R と置くことにより

$$\varepsilon = -\frac{2(1+l)}{n(I_{NR})+1+2l} \times 100 (\%) \dots (37)$$

となる。但し、 I_{GR} 、 I_{NR} は、 I_L が I_R するときの I_G 及び I_N である。従つて $\varepsilon = -0.5\%$ 以内にするためには、 $n(I_{NR})$ 及び l の定義により

$$R_{NR} = 399R + 398R_G \dots \dots (38)$$

となる。

温度 T_0 の時の誤差を $\varepsilon_{T_0}\%$ とし、 $T_0 + 4T$ の時の誤差を $\varepsilon_T\%$ とすれば、誤差の変動率は

$$\delta \equiv \frac{\varepsilon_T - \varepsilon_{T_0}}{4T} \dots \dots (39)$$

で定義される。 ε_{T_0} が (37) で與えられるとすれば ε_T は次式で與えられる。

$$\varepsilon_T = \frac{2\{R(1+\alpha\Delta T) + R_G(1+\beta\Delta T)\}}{R_N(1+\gamma\Delta T) + R(1+\alpha\Delta T) + 2R_G(1+\beta\Delta T)} \quad (40)$$

但し、 α 、 β 、 γ は夫々 R 、 R_G 、 R_N の温度係数である。設計に當つては、 ε 、 δ 等が實用の範囲内に、収まるように定数や材料を選ぶべきである。

4. 實驗及び計算結果

Tester の電流計に應用した場合に就て述べる。此の電

流計の定数は、

$$I_R = 400(\mu A) \dots (41)$$

$$2R + R_G = 500(\Omega) \dots \dots (42)$$

$$R_G = 400(\Omega) \dots (43)$$

であつた。従つて

$$R = 50(\Omega), l = 8 \dots (44)$$

となる。 R_N としては 10mm の Selen 2 個を第 2 圖の如く結んだものを用いた。Tester の電流計としては

$$S = 1000 \dots (45)$$

とすれば充分だから、これを (30) に代入すると

$$P = 10 \dots \dots (46)$$

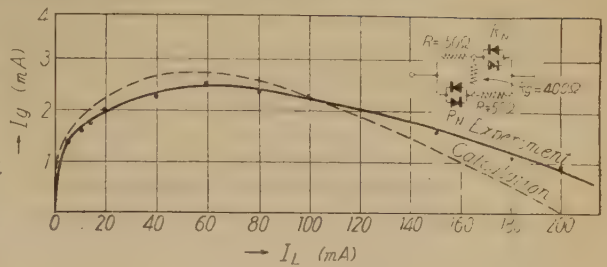
となり、(19) より

$$k = 4 \times 10^{-3} \dots (47)$$

となり、(15) に従つて計算すると第 2 圖點線の如くなる。この範囲の I_N では實際の R_N 特性とはあまりよく一致しないが (12) (22) (25) (26) (28) に従つて計算してみると、第 3 圖點線の如くなり大體實驗と一致する。

誤差を (37) に依り計算すると

$$\varepsilon = -0.225\% \dots \dots (48)$$



第 3 圖

となり實用に差し支えないことがわかる。但し、 $n(I_{NR})$ としては第 2 圖の實線から得られたものを用いた。

$$n(I_{NR}) = 8000 \dots \dots (49)$$

である。

Selen の温度係数は負でどんなに大きくても常温にて $1\%/^{\circ}\text{C}$ であるから (39) から計算する。

$$\delta = -0.003 \text{ } \%/^{\circ}\text{C} \dots \dots (50)$$

である。従つて 100° 變化したとしても

$$\varepsilon = -0.525 \text{ } \% \dots \dots (51)$$

となり、實用に差し支えないことがわかる。

5. 結 言

非直線要素(一例として Selen) と直線要素である純抵抗とを電橋型に組合せた過大電流保護回路に就て被保護物を流れる電流と Line Current との関係を解析し、これを電流計の保護に應用した場合の誤差に就て明らかにした。

本回路は、發振管の陽極電流計、波長計の指示器、音量計、熱電對電流計、真空管電壓計の指示器、真空計、及び wheatstone Bridge の檢流計等、比較的破損率の高い場所に應用するとよいと思う。

本研究は、1945年に太平洋通信測器株式會社石井好忠氏に依頼されたものであり、特許番號は No. 183858 である。

終りに、終始御鞭撻下さつた 横地部長に厚く感謝する。

参考文献

- 1) 鳳 誠 三 郎 電氣材料 (共立出版) p. 136
- 2) 石 井 好 忠 日本國政府特許公報 昭25—397
- 3) 石 井 好 隆 無線と實驗 1950年8月號 (誠文堂) p. 57
- 4) 阿部善右衛門 電機通信學會雜誌 春日 浩 一 1950年9月號 p. 24

アンモニア吸収冷凍機の熱力学的性能 (第1報)

(1950年8月30日受理)¹⁾

栗 野 誠 一 ²⁾

Thermodynamical Performances of Ammonia Absorption Refrigerator (The 1st Report)

By Seiiti AWANO

The thermodynamical performance of the NH_3 absorption refrigerator of Electrolux or Platen-Munters system is studied here. In this system, hydrogen gas is added to the ammonia liquid entering into the evaporator from the condenser to keep the partial pressure of NH_3 low enough to enable it to evaporate itself in the evaporator, although the total pressure of the gases is kept constant throughout the system (Fig. 1). Several charts and tables for the calculation of this system are derived from Merkel's and his co-worker's diagrams for ammonia-aqua solution (Table 1—12, and Chart 1—12), and some equations for its heat balance are given in Equations (1) to (11). The flowing weight ratio of ammonia-solution is f kg per 1 kg of ammonia-rich vapour from the generator is given in Equation (13), in which ξ_u , ξ_r and ξ_w denote the concentration of ammonia in the NH_3 -rich-vapour, in the rich solution of NH_3 , and in the weak solution of NH_3 respectively. The flowing weight ratio of hydrogen is h kg per 1 kg of NH_3 -rich-vapour from the generator, and is calculated from Equation (19), in which x_s denotes the rate of evaporation of NH_3 at the outlet of evaporator, p the total pressure of mixture of NH_3 and H_2 gases, and p_{NH_3} , the partial pressure of NH_3 . The rate of evaporation x_s can be calculated from Equation (23), the values of ξ_s being given in Chart 11 as a function of p_{NH_3} and evaporating temperature, t_s . The state of NH_3 and H_2 mixtures at the outlet of the gas-heat-exchanger can be calculated from Equation (9) and from the equations (22) and (23), by means of a trial-and-error method.

Equation (27) denotes the refrigerating efficiency, η_R , which is the ratio of refrigerating heat, q_o , to the sum of heat supplied to generator, q_w , and thermo-siphon, q_T .

Each of the absolute weight flows of NH_3 -rich-vapour from generator to condenser, G_u —that of H_2 gas, G_{H_2} , that of rich solution, G_r , and that of weak solution G_w —is proportional to the total heat, H , supplied to the generator and thermo-siphon. Hence, the performance referring to the gas or liquid flow will be represented by the flow coefficients C_u , C_h , C_{RS} and C_{ws} respectively as shown in Equations (28), (29), (30) and (31).

In the same way, the performance referring to the heat supplied or rejected, can be represented by the heat coefficients C_k (condenser), η_R (evaporator), C_E (Gas-heat-exchanger), C_a (absorber), C_e (liquid-heat-exchanger), C_T (thermo-siphon), and C_w (generator) as shown in Equation (32) to (38).

As a result of calculations by means of the method mentioned above, the following conclusions are obtained;

a) The rate of evaporation of NH_3 liquid in the evaporator increases slightly with the increase of partial pressure, p_{NH_3} at any constant evaporating temperature, t_s , until it reaches a maximum value at a pressure p_{NH_3} , above which it decreases suddenly down to zero (Fig. 4). On the other hand, the concentration of the rich solution, ξ_r , increases with the increase of p_{NH_3} , and the weight flow $C_u = C_{RS} - C_{ws}$ of the ammonia-rich-vapour through the evaporator is also increased. Hence the efficiency, η_R , increases at first with p_{NH_3} at any constant temperature, t_s , and reaches a maximum value, and then decreases again to zero as the combined result of these two effects (Fig. 3).

b) The efficiency of this system is not very high at low evaporating temperatures, but it reaches at least about 40–45% at $t_s = -5^\circ\text{C}$.

As the water contained in the ammonia-aqua solution has to be heated and cooled repeatedly without any gain of refrigeration, the efficiency of this absorption system is generally less than that of a compression system.

1) 昭和25年10月25日 日本機械學會東京臨時大會講演會に於て講演

2) 日本大學工學部機械工學科教授

3) Merkel: Bosnjakovic: Diagramme und Tabellen zur Berechnung der Absorption-Kältemaschinen.

C) To improve the efficiency of this system, the following condition must be satisfied:

1. To keep the concentration of the weak solution, $\hat{\xi}_w$, as weak as possible (which means: to keep the temperature of the weak solution, t_2 , high, and to keep the total pressure, p , low).

2. To keep the concentration of the rich solution $\hat{\xi}_r$ as rich as possible (which means: to keep the temperature of absorber, t_4 , low, and to keep the partial pressure, p_{NH_3} , high).

3. To keep the concentration of NH_3 -rich-vapour $\hat{\xi}_v$ as high as possible (which means: to keep $\hat{\xi}_r$ rich and the total pressure, p , low).

4. To promote the evaporation in the evaporator (which means: to keep the temperature t_3 high).

d) The total pressure, p , must be kept a little higher than the saturated liquid pressure, p_s , which is determined by $\hat{\xi}_v$, and the condensing temperature, t_6 (Fig. 10). If $p < p_s$, some part of the NH_3 -rich-vapour is not liquefied in the condenser but flows into the evaporator directly, and causes a decrease of the efficiency (Fig. 16).

e) The maximum value of the temperature t_2 of the weak solution in generator depends on the condition of $\hat{\xi}_w = 0$, that is, the saturated temperature of the steam at pressure p (Table 2'). The minimum value of t_2 also depends on the condition of $\hat{\xi}_r = \hat{\xi}_w$, where $\hat{\xi}_r$ is the function of p_{NH_3} and t_4 , $\hat{\xi}_w$ that of p and t_2 .

The temperature t_2 has to be taken higher than the mean value of these maximum and minimum values. The effects of t_2 on the efficiency of the system are shown in Fig. 22.

f) When t_2 is kept high enough and the weight flow of the rich solution is kept low, a higher efficiency will be obtained than in the reverse case.

g) The percentage of the heat supplied to the heat-siphon will be kept less than 15-20% of the total heat, supplied to the generator and the siphon, in the most efficient conditions.

h) The lower condensing temperature, t_6 , and absorbing temperature, t_4 , will give higher efficiency, and the effect of absorption temperature on the efficiency is greater than that of the condensing temperature (Fig. 26).

1. 緒 言

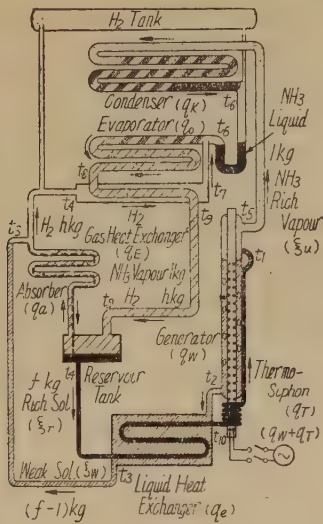
NH_3 吸収冷凍機は電熱又はガスを直接動力源として用い、壓縮機モーター等を全く必要としない點で特異の存在を示すものであるが、その熱力学的性能についてはあまり明瞭にされていない。特に H_2 gas を併用する Elecfrolux 型又は Platen-Munters 型のもは、その着想の巧妙な點で興味があるが、その熱力学的特性も明かでないので設計に際して困難を感じる點が多い。本文は Merker Bosnjakovic の NH_3-H_2O 溶液についての線圖を基として本装置計算用諸線圖をつくり、一方蒸發器に於ける NH_3 の氣化現象を取入れた新しい計算方法によつて性能解析を試みその効率改善に一つの指針を與えることを目的とするものである。

2. 基本サイクル

H_2 ガスを併用した NH_3 吸収冷凍機にも細部に亘ると種々の型式のものが考えられるが、本計算では第1圖の如き系統について計算を行つた。 NH_3 吸収冷凍機は NH_3 が低温では水に極めてよく吸収されて NH_4OH をつくり、これを加熱すれば再び NH_3 ガスと NH_3 の稀薄溶液 (Weak Solution) に分れる性質を利用したものである。即ち Generator で加熱して分離した NH_3 の Rich

Vapour (2~6% の水分を含む) は凝縮器で冷却液化した後蒸發器に入る。蒸發器の入口で H_2 ガスを混入すれば NH_3 の分壓 p_{NH_3} は、全壓 p と H_2 の分壓 p_{H_2} との差となるから丁度膨脹弁によつて減壓したと同じ結果となり NH_3 は蒸發氣化して蒸發潛熱を吸収する。この NH_3 と H_2 の混合氣體はガス熱交換器に入り、蒸發器に入る H_2 ガスを豫冷した後吸収器に入る。吸収器には一方 Generator で殘留した NH_3 の Weak Solution が液體熱交換器を通つた後注ぎ込まれ、蒸發器からくる NH_3 と H_2 の混合ガスのうちの NH_3 ガスのみを吸収し NH_3 の濃厚溶液 (Rich Solution) をつくる。この時吸収器は外から冷却してなるべく低温に保つてやる必要がある。吸収器の Reservoir Tank にたまつた Rich Solution は液體熱交換器に入り、Generator から吸収器に行く Weak Solution によつて豫熱された後、Generator の熱サイフオンの作用により Generator に注ぎ込まれる。熱サイフオンは加熱によつて生じる NH_3 の氣泡によるポンプ作用を利用して head をたかめ Rich Solution を Generator に注入する作用を行う。一方吸収器で分離された H_2 ガスはガス熱交換器で豫冷された後、蒸發器の入口に戻り循環する。本型式の特徴は全壓は裝置内略一定に保たれ、單に H_2 ガスの混合、分離のみによつて NH_3 の分壓を低めたり高めたりする點並に氣泡ポンプを巧に利用した點にある。

3. 計算方法



第 1 圖

H₂ ガス併用型 NH₃ 吸収冷凍機系統圖

i 記 號

a) 温 度

- t_1 : 熱サイフォンより Generator に入る Rich Sol. の温度, °C
 t_2 : Generator で発生する Weak Sol. の温度, °C
 t_3 : 液體熱交換器出口に於ける Weak Sol. の温度, °C
 t_4 : 吸収器を出る Rich Sol. の温度, °C
 t_5 : Generator で発生する NH₃ Rich Vapour の温度, °C
 t_6 : 凝縮器出口に於ける NH₃ Rich Liquid の温度, °C
 t_7 : 蒸發器に混入する H₂ gas の温度, °C
 t_8 : 蒸發器出口に於ける NH₃ 及び H₂ ガスの温度, °C
 t_9 : ガス熱交換器出口に於ける NH₃ 及び H₂ ガスの温度, °C
 t_{10} : 液體熱交換器出口に於ける Rich Solution の温度, °C

b) エンタルピー

各温度に相當する NH₃ の Rich Sol. Weak Sol. 又は Rich Vapour の夫々 1kg に対する Enthalpy

を $i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6, i_7, i_8, i_9, i_{10}$ とする. 但し H₂ の Enthalpy については別に考える.

c) 濃 度

ξ_r : Rich Sol. の濃度 (NH₃ の重量混合比)

ξ_w : Weak Sol. の濃度

ξ_u : Generator より発生する NH₃ Rich Vapour の濃度

d) 循還量

f : Generator で発生する NH₃ Rich Vapour 1kg に対する Rich Sol. の循還量, kg

$f-1$: Rich Vapour 1kg 當り Weak solution の循還量, kg

h : Generator で発生する NH₃ Rich Vapour 1kg 當り H₂ ガスの循還量, kg

e) 熱 量

まづ NH₃ Rich Vapour 1kg を発生する場合を基準にとつて考える.

q_T : f kg の Rich Solution を熱サイフォンで t_{10} より t_1 まで温度上昇するに要する熱量

q_w : Generator で f kg の Rich Sol. を温度 t_1 より t_2 まで加熱するに要する熱量

q_k : NH₃ Rich Vapour 1kg を凝縮器で液化するために取去るべき熱量

q_0 : NH₃ Rich Vapour 1kg 當り蒸發器の吸収する熱量

q_a : 吸収器の放熱量

q_e : 液體熱交換器の交換熱量

q_E : ガス熱交換器の交換熱量

ii 熱平衡式

各部分について夫々次のような熱平衡の式が成立せねばならない.

a) 液體熱交換器

$$q_e = (f-1)(i_2 - i_3) = f(i_{10} - i_4) \dots \dots (1)$$

$$\therefore i_3 = i_2 - \frac{f}{f-1}(i_{10} - i_4) \text{ kcal/kg} \dots \dots (2)$$

b) 熱サイフォン⁴⁾

$$q_T = f(i_1 - i_{10}) \dots \dots (3)$$

c) Generator.

$$fi_1 + q_w = (f-1)i_2 + i_5 \dots \dots (4)$$

$$(3)(4) \text{ より } q_w + q_T = (f-1)i_2 + i_5 - fi_{10} \dots \dots (5)$$

d) 凝縮器

$$q_k = i_5 - i_6 \dots \dots (6)$$

e) 蒸發器

⁴⁾ 熱サイフォンでは一部蒸氣になるから厳密には q_T は (3) よりは多少大きく (4) 式の q_w は多少小さくなるが差引き (5) 式は同じ形をとる. ここでは近似的に取扱い厳密な形については次報で取扱う.

c_{pH_2} : H_2 gas の定圧比熱 $\approx 3.4 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ とすれば

$$q_0 = (i_5 - i_6) - c_{pH_2} \cdot h(t_7 - t_5) \dots\dots\dots (7)$$

f) ガス熱交換器

$$q_E = (i_9 - i_8) + c_{pH_2} \cdot h(t_9 - t_8) \\ = c_{pH_2} \cdot h(t_4 - t_7) \dots\dots\dots (8)$$

$$\therefore i_9 = i_8 + c_{pH_2} \cdot h(t_4 - t_7 + t_8 - t_9) \dots\dots\dots (9)$$

g) 吸収器(タンクも含む)

$$(f-1) \cdot i_3 + i_9 + c_{pH_2} \cdot h T_9 = f i_4 + c_{pH_2} \cdot h T_4 + q_a \\ q_a = (f-1) i_3 - f i_4 + i_9 + c_{pH_2} \cdot h(t_9 - t_4) \dots\dots\dots (10)$$

h) 系全體の熱平衡式

$$q_w + q_T + q_0 = q_k + q_a \dots\dots\dots (11)$$

iii 濃度の決定

全圧 p , 分圧 p_{NH_3} , Weak solution の温度 t_3 , 凝縮器及び蒸發器の冷却温度 t_6, t_4 , 蒸發温度 t_8 を假定する。

ξ_r は吸収器のタンクの状態 (p_{NH_3}, t_4) に対する飽和液の濃度によつて定まる(第1表)。Weak solution の濃度 ξ_w は Generator の条件 (p, t_2) に相當する飽和液の濃度である(第2表)。 ξ_u は Generator で發生する蒸氣の条件 (p, t_1) に相當する飽和蒸氣の濃度で定まり(p, ξ_r) の函数として與えられ(第3表), これらはいづれも線圖より求める。

$f \text{ kg}$ の Rich Sol. に含まれる NH_3 の重量は, これより發生する 1 kg の NH_3 Rich Vapour 中の NH_3 と, $(f-1) \text{ kg}$ の Weak Sol. 中の NH_3 の重量の和に等しいから

$$f \xi_r = \xi_u + (f-1) \xi_w \dots\dots\dots (12)$$

$$f = \frac{\xi_u - \xi_w}{\xi_r - \xi_w} \dots\dots\dots (13)$$

iv 各點の Enthalpy 及び温度の決定

i_1 : (ξ_r, p) に於ける飽和溶液の Enthalpy(第4表)

t_1 : (ξ_r, p) の状態の飽和液の飽和温度(第5表)

i_2 : (ξ_w, p) の状態の飽和液の Enthalpy(第4表)

i_4 : (t_4, p_{NH_3}) 又は (ξ_r, p_{NH_3}) の状態に於ける飽和溶液の Enthalpy(第6表)

i_{10} : ξ_r の溶液が t_{10} の下で有する溶液の Enthalpy(第7表)

i_5 : (p, ξ_r) の下に於ける飽和蒸氣の Enthalpy(第9表)

i_6 : (t_6, ξ_u) で定まる。(第1表)

i_3 : (2) 式により決定する。

t_3 : i_3 は ξ_w なる weak sol. の (t_3, ξ_w) なる液體の enthalpy であるから i_3, ξ_w がわかると, 線圖より逆に t_3 を決定できる。(第8表)

これらの計算はすべて夫々の函数として與えられた線圖より圖式的に求める。

v. 蒸發器に於ける蒸發について

蒸發器出口温度 t_8 の下に於ける平衡状態を考える。

p_{NH_3} : NH_3 gas の分圧 ata ($\text{kg/cm}^2 \text{ abs.}$)

p_{H_2} : H_2 gas の分圧 ata

p : 全圧 ata

x_8 : 温度 t_8 , 分圧 p_{NH_3} の下で飽和状態になるまで蒸發した時の氣化割合
 ... (氣化 NH_3 重量/全 NH_3 Rich Liquid 重量)

Dalton の法則によつて

$$p = p_{NH_3} + p_{H_2} \dots\dots\dots (14)$$

ある一定容積 $V \text{ m}^3$ のうちに含まれる濃度 ξ_u なる NH_3 と僅の水分の混合物の全重量を $G_{NH_3} \text{ kg}$ としそのうち氣化した重量を $x_8 G_{NH_3} \text{ kg}$ とする。又この $V \text{ m}^3$ のうちに含まれる H_2 gas の重量を $G_{H_2} \text{ kg}$ とすれば

$$p_{NH_3} V = x_8 G_{NH_3} R_{NH_3} T_8 \dots\dots\dots (15)$$

$$p_{H_2} V = G_{H_2} R_{H_2} T_8 \dots\dots\dots (16)$$

$$\frac{p_{H_2}}{p_{NH_3}} = \frac{G_{H_2}}{x_8 G_{NH_3}} \frac{R_{H_2}}{R_{NH_3}} = \frac{h}{x_8} \frac{m_{NH_3}}{m_{H_2}} = \frac{8.5h}{x_8} \dots\dots\dots (17)$$

分子量 $m_{NH_3} = 17$ $m_{H_2} = 2$

(14)(15)より

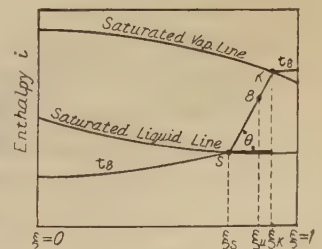
$$\left. \begin{aligned} p_{NH_3} &= \frac{p}{1 + \frac{h}{x_8} \frac{m_{NH_3}}{m_{H_2}}} = \frac{p}{1 + 8.5 \frac{h}{x_8}} \\ p_{H_2} &= \frac{x_8}{1 + \frac{h}{x_8} \frac{m_{NH_3}}{m_{H_2}}} p = \frac{8.5 \frac{h}{x_8}}{1 + 8.5 \frac{h}{x_8}} p \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

$$h = \frac{x_8}{m_{NH_3}} \left(\frac{p}{p_{NH_3}} - 1 \right) = \frac{x_8}{8.5} \left(\frac{p}{p_{NH_3}} - 1 \right) \dots\dots\dots (19)$$

p, p_{NH_3}, x_8, h の間には常に(19)式の關係を満足せねばならない。

第2圖は NH_3-H_2O

溶液の濃度 ξ と enthalpy i の關係を示し飽和液線と飽和蒸氣線の間 8 の状態が蒸發器の出口の状態とする。 p_{NH_3} と t_8 とに相當する飽和液 (S點) の濃度を ξ_s



第2圖 $i-\xi$ 線圖

飽和蒸氣 (K點) の濃度を ξ_k とする。SとKを結ぶ直線の傾を θ とすれば

$$k = \frac{1}{\tan \theta} = \frac{\xi_k - \xi_s}{i_k - i_s} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kcal}} \dots\dots\dots (20)$$

普通の吸収冷凍機の實用範圍に於ては $\xi_k \approx 1$ として殆んど差支えなく又 h も次の如く近似式であらわしうる

$$s = 0.0015(1 - s_1) - 0.0005(1 - s_1)^2 \dots (21)$$

但しこの近似式の適用範囲は $s_1 = 0.4 \sim 1.0$, $p_{\text{NH}_3} = 1 \sim 3 \text{ ata}$ の範囲である。第11表より s と t の中間点の s なる状態の enthalpy i_s をもとむるには

$$\frac{i_5 - i_4}{i_k - i_4} = \frac{s_5 - s_4}{s_k - s_4}$$

$$\text{より } i_5 = i_4 + \frac{i_k - i_4}{s_k - s_4}(s_5 - s_4) = i_4 + \frac{1}{k}(s_5 - s_4) \text{ kcal/kg} \dots (22)$$

まづ t_5 と p_{NH_3} を假定すると第11, 12表より s_5, i_5 が與えられるから (21) (22) によつて i_5 を決定できる。

又 s なる点の氣化割合 x_5 は

$$\frac{x_5}{1 - x_5} = \frac{s_5 - s_1}{s_k - s_1} = \frac{s_5 - s_1}{1 - s_1} \dots (23)$$

s_1, s_5 がわかれば x_5 は (23) より計算できる。これを (19) 式に入れるとこのような條件を満足させるための H_2 の循環割合 h が決定される。

或は逆に p, p_{NH_3}, h が定まれば (19) より氣化割合 x_5 が定まり

$$(23) \text{ より } s_5 = s_1 - \frac{x_5}{1 - x_5}(1 - s_1) \dots (23')$$

により s_5 を定め p_{NH_3} の下で s_5 を與えるような温度 t_5 を第11表より定めれば蒸發温度が決定できる。

vi ガス熱交換器

ガス熱交換器の出口に於ける温度 t_5 及び Enthalpy i_5 を決定するにはこの熱交換器の温度効率 η_{TE}

$$\eta_{\text{TE}} = \frac{t_4 - t_1}{t_4 - t_5} \dots (24)$$

を適當に定める。 t_4, t_5 は既知であるから t_1 が定まる。 t_5 を定めるにはまづ t_5 をある値に假定すると (9) 式より i_5 が計算できる。一方 t_5 の場合と同様に t_5 と p_{NH_3} に対して第11表より s_5 が定まるから (21) 式よりこの時の k をもとめ (22) に入れて i_5 を計算する。

但し i_5, s_5 は (t_5, p_{NH_3}) に対する値をとるべきことは勿論である。このようにして計算してもとめた t_1 と (9) 式よりもとめた t_1 が一致すればよいが、若し異るときは Trial and error method によつて両者が一致するまで同様の計算を繰返し t_1, i_5 を求める。ガス熱交換器の内での H_2 と NH_3 との混合割合は蒸發器内と同様 h であるが蒸發割合 x_5 は t_5 が t_4 よりも高まるので x_5 より大きくなる。そして嚴密には (19) 式と同様に

$$h = \frac{x_5}{8.5} \left(\frac{p}{p_{\text{NH}_3}} - 1 \right) \dots (25)$$

を満足しなければならぬ。 $x_5 > x_3$ であるから $p_{\text{NH}_3} > p_{\text{NH}_3}$ でなければならず、實際にはガス熱交換器内の NH_3 分壓は蒸發器内よりも多少高まり x_5 が x_3 より

も増加することを妨げる傾向をもつ。従つて嚴密には t_5, i_5 の計算にあつても (t_5, p_{NH_3}) に対して求めなければならないが、第一近似としては上述の如く (t_5, p_{NH_3}) に対して求めればよい。

vii 液體熱交換器

液體熱交換器に入る Rich Sol. の状態は (t_4, i_4) であり、 i_4 は s_4 なる Rich Sol. の (t_4, p_{NH_3}) に於ける飽和溶液の Enthalpy であり t_4 は吸熱器冷却温度によつて定まる。即ち i_4 は (s_4, p_{NH_3}) の函数として與えられる (第5表)。この Rich Sol. は熱サイフォンに入る前に t_4 から t_5 まで加熱され Enthalpy は i_4 より i_5 まで増加する。 i_5 は (t_5, t_5) に対して與えられる (第5表)。 t_5 は液體熱交換器の温度効率 η_{TE}

$$\eta_{\text{TE}} = \frac{t_5 - t_4}{t_5 - t_1} \dots (26)$$

を適當に擇ぶこと定まる。(實際の設計にはこの假定的 η_{TE} を與えるに充分な加熱面積を與えてやることを意味する)。

viii 冷凍能力及び効率

以上の諸計算によつて各點の i の値が定まるから $q_4, q_5, q_6, q_7, q_8, q_9, q_{\text{r}}$ 等をすべて計算できる。

従つてこの冷凍機の効率 η

$$\eta = \frac{q_4}{q_5 - q_4} \dots (27)$$

ix 性能表示法

以上の様にして求めた s_1, s_5, s_6, i, h 等の値は條件が變つた限り不變であるが、各種熱量 q はすべて Generator で發生する NH_3 Rich Vapour の 1 kg 當りの熱量であらわされている。従つて Generator 及び熱サイフォンを加熱する總熱量 $(q_4 + q_{\text{r}})$ が $H \text{ kcal/h}$ であるときには Generator から發生する NH_3 Rich Vapour の流量は

$$\left. \begin{aligned} G_4 &= \frac{H}{q_4 - q_{\text{r}}} = H C_4 \quad \text{kg/h} \\ C_4 &= \frac{1}{q_4 - q_{\text{r}}} \quad \frac{\text{kg}}{\text{kcal}} \end{aligned} \right\} \dots (28)$$

H_2 ガスの循環量は

$$\left. \begin{aligned} G_{\text{H}_2} &= G_4 h = H C_h \quad \text{kg/h} \\ C_h &= \frac{h}{q_4 - q_{\text{r}}} \quad \frac{\text{kg}}{\text{kcal}} \end{aligned} \right\} \dots (29)$$

Rich Solution の流量

$$\left. \begin{aligned} G &= G_4 f = H C_{\text{rs}} \quad \text{kg/h} \\ C_{\text{rs}} &= \frac{f}{q_4 - q_{\text{r}}} \quad \frac{\text{kg}}{\text{kcal}} \end{aligned} \right\} \dots (30)$$

Weak solution の流量は

$$G_u = G_u(f-1) - HC_u \quad \text{kcal/h} \\ C_u = \frac{f-1}{q_u + q_T} \quad \text{kg/kcal} \quad \dots\dots(31)$$

凝縮器の放熱量

$$Q_k = G_k q_k = HC_k \quad \text{kcal/h} \\ C_k = \frac{q_k}{q_u + q_T} \quad \dots\dots(32)$$

蒸發器の冷凍能力

$$Q = G q = H \eta_R \quad \text{kcal/h} \\ \eta_R = \frac{q}{q_u + q_T} \quad \dots\dots(33)$$

ガス熱交換器の交換熱量

$$Q_E = G q_E = HC_E \quad \text{kcal/h} \\ C_E = \frac{q_E}{q_u + q_T} \quad \dots\dots(34)$$

吸収器の必要冷却熱量

$$Q_a = G_a q_a = HC_a \quad \text{kcal/h} \\ C_a = \frac{q_a}{q_u + q_T} \quad \dots\dots(35)$$

液体熱交換器の交換熱量

$$Q_c = G_c q_c = HC_c \quad \text{kcal/h} \\ C_c = \frac{q_c}{q_u + q_T} \quad \dots\dots(36)$$

熱サイフオンの加熱に要する熱量

$$Q_T = G_T q_T = HC_T \quad \text{kcal/h} \\ C_T = \frac{q_T}{q_u + q_T} \quad \dots\dots(37)$$

Generator 加熱に要する熱量

$$Q_w = G_w q_w = HC_w \quad \text{kcal/h} \\ C_w = \frac{q_w}{q_u + q_T} \quad \dots\dots(38)$$

これらの諸流量並に熱量はすべて加熱割合 H に比例するからその比例定数 $C_u, C_k, C_{ES}, C_w, C_k, \eta_R, C_E, C_a, C_c, C_T, C_w$ 等によつて性能を一般的に表すことを得る。實際の毎時間當り流量又は熱量はこれらの値に加熱々量割合 H kcal/h を掛ければ直ちに求める。

これらの諸係数の間には (11) 式より

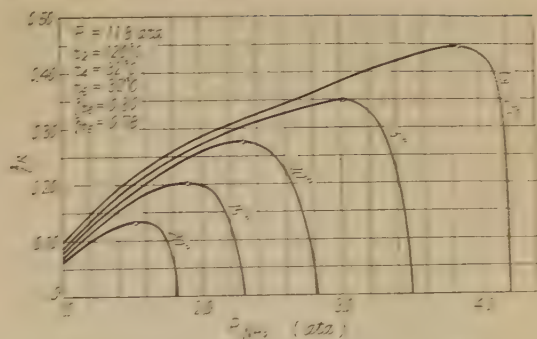
$$\eta_R = C_k + C_a - 1 \quad \dots\dots(39)$$

の関係が成立する。

4. 一般性能

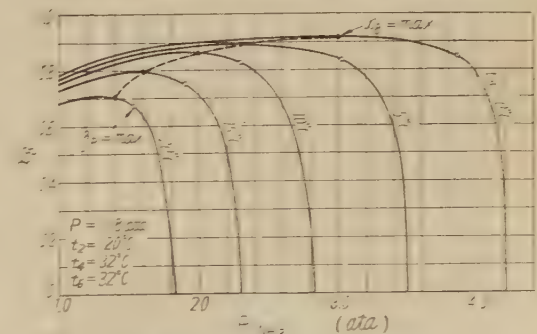
i アンモニア分壓 p_{NH_3} と蒸發温度 t_s の影響

- a) 性能計算の結果を綜合すれば蒸發温度が高い程効率 η_R は高くなる。又 p_{NH_3} の使用範囲も廣くなり η_R 最大の點の p_{NH_3} は高く擧げねばならぬことがわかる(第3圖)。

第3圖 効率に及ぼす蒸發温度と p_{NH_3} の影響

- b) t_s 一定の下では p_{NH_3} を増加する程 η_R は増加するがある壓力で最大値を示し、これを越すと急激に低下し $\eta_R=0$ になる。これは次の二因子の組合せの結果である。 p_{NH_3} が増すと ξ_c が増し ξ_w は一定であつても ξ_r と ξ_w の差が増加する。即ち Generator で發生する NH_3 Rich Vapour の流量が増加し又その濃度 ξ_u も増加する(第5圖)。従つて蒸發器を通る NH_3 の流量が増加して冷凍能力は増す傾向を示す。

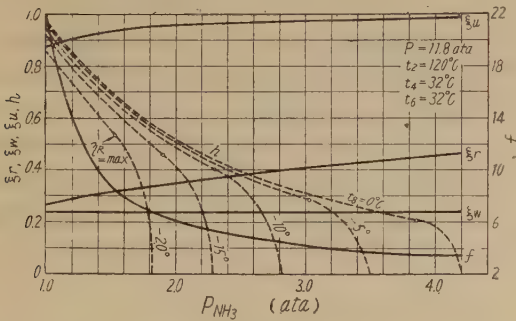
一方蒸發器内の蒸發割合 x_s は t_s 一定の下では蒸發壓力 p_{NH_3} が高くなると最初のうちは多少増加するが、ある程度以上高めると x_s は急激に減少し $x_s=0$ になつてしまう(第4圖)。こうなるといくら NH_3 Rich Vapour の流量が多くても蒸發しないから冷凍能力を發揮できない。この二つの作用が組合さつて第3圖のような性能を示すことになる。

第4圖 Evaporator 内の蒸發割合 x_s

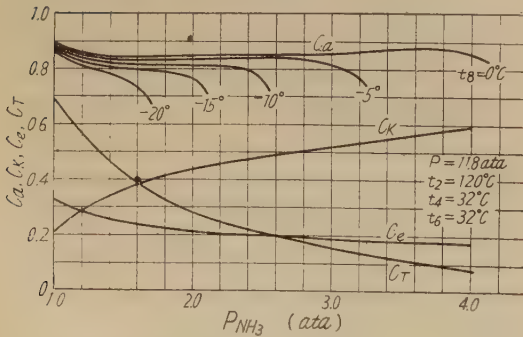
- c) η_R の最大になる壓力は x_s の最大になる p_{NH_3} よりも多少大きいところにある(第4圖)。
d) $\eta_R=0, x_s=0$ なる點は (23) 式より明かなるやうに $\xi_u=\xi_c$ となる p_{NH_3} でおこる。
e) この種の冷凍機は低温用としては效率があまりよくないが、 -5°C 内外の比較的高温で用いれば 35%

～45%程度の比較的よい効率を得られる。然しこれも尙普通の壓縮型 NH_3 冷凍機にくらべると遙に低い。これは主として溶液中に多くの H_2O を含み、これを1サイクル中に無益にあたためたり冷したりせねばならぬことに原因する。

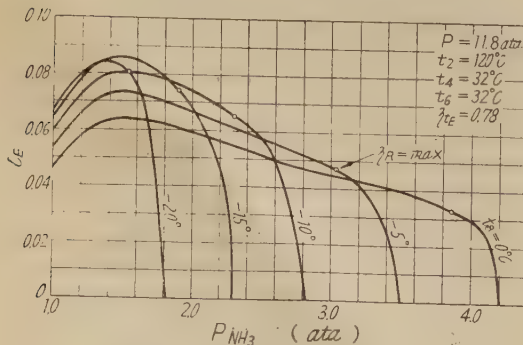
- f) η_R をあげるにはなるべく ε_r , ε_u を大きく ε_w を小さく ω_8 を大ならしむようにすればよい。
- g) 凝縮器、液體熱交換器の熱量係数 C_k , C_e は蒸發温度に無関係であり C_k は p_{NH_3} と共に増し C_e は減少する(第6圖)。
- h) 吸収器の冷却熱量係数 C_a は C_k よりも大きく加



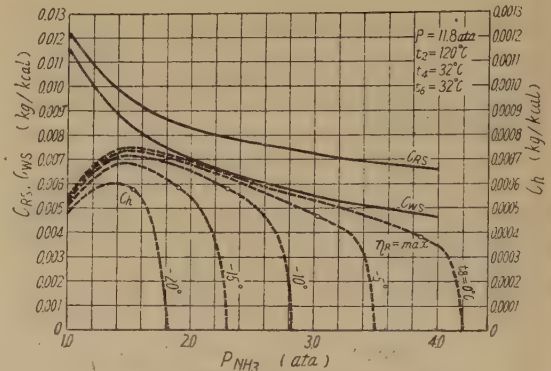
第5圖 濃度及び流量比



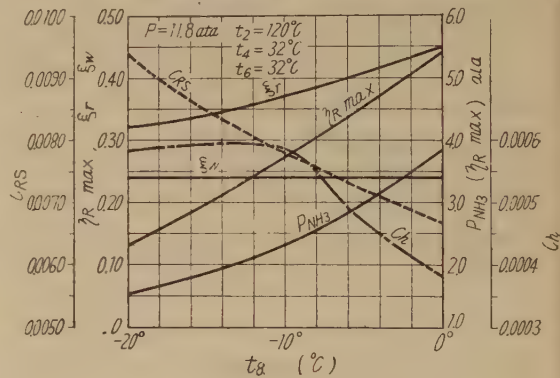
第6圖 熱量係数 C_k , C_a , C_e , C_T



第7圖 熱量係数 C_e



第8圖 循環量係数 C_{RS} , C_{ws} , C_h



第9圖 最大効率を與える條件の一例

熱熱量 H の 80～90% を必要とすることがわかる(第6圖)。

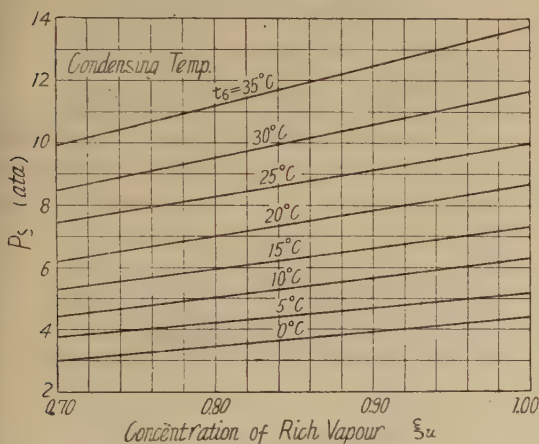
- i) 熱サイフォン加熱係数 C_T は p_{NH_3} が低く η_R が低い時は全加熱量の60%程度でも必要とするが、 p_{NH_3} が高く効率のよい状態で使用される時は全加熱量の10～20%程度でよい(第6圖)。
- j) ガス熱交換器の交換熱量は、熱交換器の面積にもよるが、一般に液體熱交換器の交換熱量に比して著しく小さく50～25%である(第7圖)。
- k) Rich Sol. 及び Weak Sol. の流量 C_{RS} , C_{ws} は t_3 には無関係に定まり、 p_{NH_3} を高くすると少くてよい。然しその差 $C_h = C_{RS} - C_{ws}$ は p_{NH_3} の増大と共に却つて増加する(第8圖)。

- l) 水素循環量係数 C_h は p_{NH_3} 一定の下では t_3 が高くなる程増やしてやらねばならぬが、最大効率になるよう p_{NH_3} を擇ぶ時は t_3 が高い程少くてよい。第8圖で常に $\eta_R = \max$ に相當する點の左側にあるようにしてやらねばならぬ。 C_h は0.0004～0.00075であり、 C_{RS} の0.007～0.012に比して重量流量は少いが、比重が小さいから容積流量はかなりに大きい。

- m) 第9圖は蒸發溫度 t_8 に對して η_R が常に最大になるために與えるべき條件の一例を示すものである。
 t_8 が高くなると溶液の流量は少なくてよい。

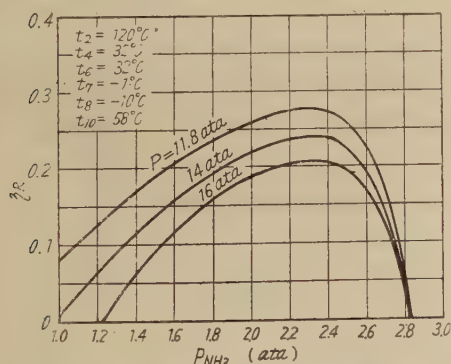
ii) 全壓 P の影響

- a) 全壓 p の満足すべき第一條件は凝縮器で NH_3 -Rich Vapour を溫度 t_6 の下で全部液化せしめうる壓力でなければならない。即ち、濃度 ξ_u に於て凝縮器の凝縮溫度 t_6 に相當する飽和壓力 p_s よりも高くなければならぬ。この p_s は t_6 が低ければ低く高ければ高い。この關係を第10圖に示す。



第10圖 凝縮溫度 t_6 とその飽和壓力 p_s

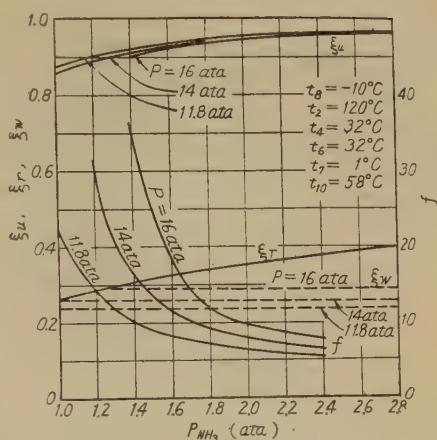
- b) 全壓 p をこの飽和壓力 p_s より更に高めると η_R は多少低下する。この低下の割合は p_{NH_3} が小さい場合程著しい(第11圖)。



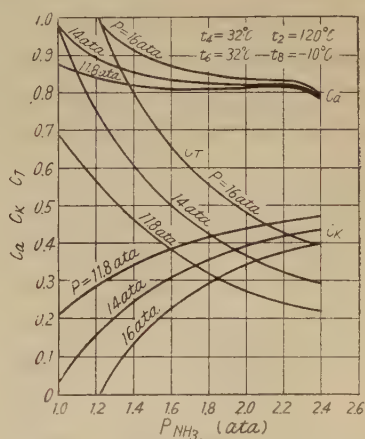
第11圖 全壓 p の效率に及ぼす影響

これは p を増加すると ξ_r は變らぬが ξ_w は大きくなり ξ_u は小さくなる。即ち ξ_r と ξ_w の差は小さくなり Generator より發生する NH_3 の流量が減少することによる(第12圖)。

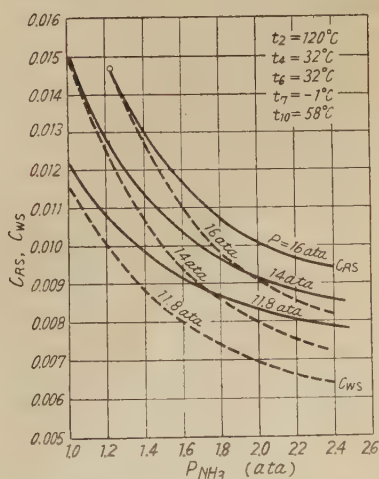
- c) p を増加すれば 同一 p_{NH_3} の時は C_r , C_n , C_{RS} ,



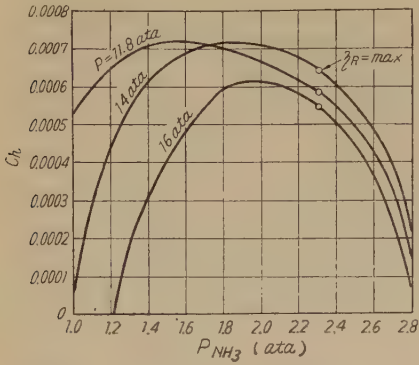
第12圖 全壓 p が ξ_r , ξ_w , ξ_u 及び f に及ぼす影響



第13圖 全壓 p による C_n , C_r , C_k の變化



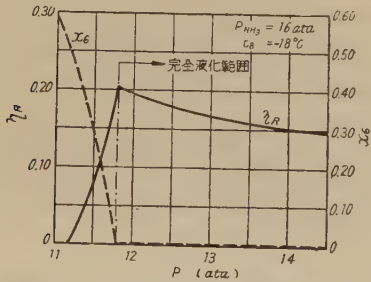
第14圖 全壓 p による C_{RS} , C_{WS} の變化



第15圖 全壓 p による C_h の變化

C_{ws} は増し C_h, C_k, C_E, C_e は減少する (第13, 14, 15 圖). C_{RS} と C_{ws} は夫々増すがその差 C_u は却つて減少する(第14圖).

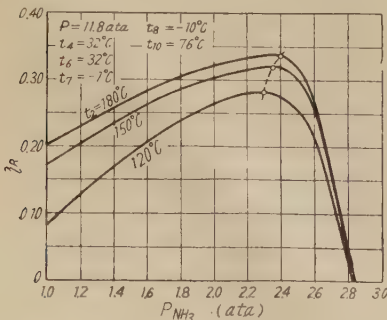
d) p を p_s より低くすれば、凝縮器の中で一部しか液化せず、蒸發器に一部は氣體のままで流入するから冷凍能力は著しく低下する(第16圖)。結局 p は p_s よりも僅に高く p_s になるべくに近く擇ばよいことになる。



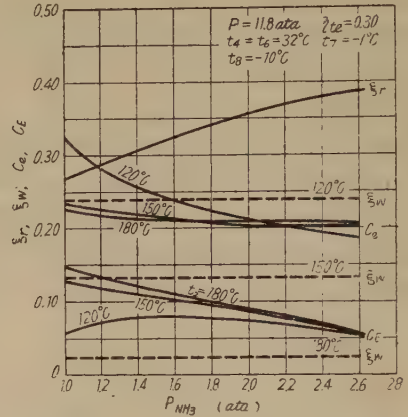
第16圖 全壓 p による効率の變化

iii Generator の溫度 t_2 の影響

a) weak solution の溫度はなるべく高い方がよい。
 p 一定でも t_2 が高いと濃度 ϵ_w は小さくなるから、 ϵ_r と ϵ_w の差が増大し η_R は増加する(第17, 18圖)。

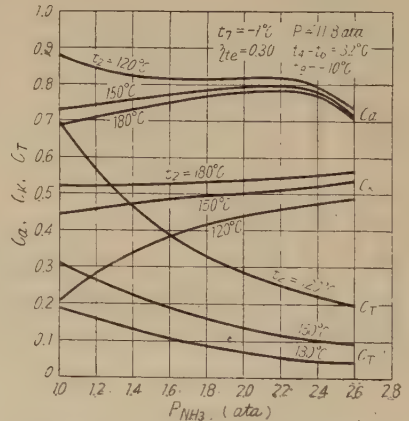


第17圖 weak solution の溫度 t_2 が効率に及ぼす影響

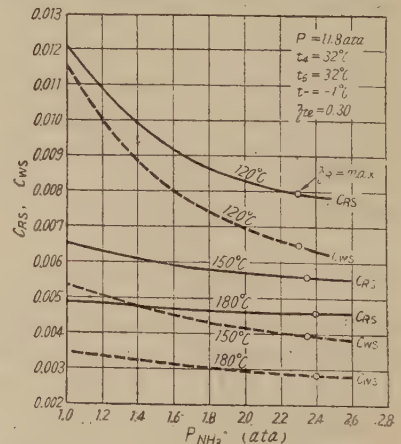


第18圖 t_2 による $\epsilon_r, \epsilon_w, C_e, C_E$ の變化

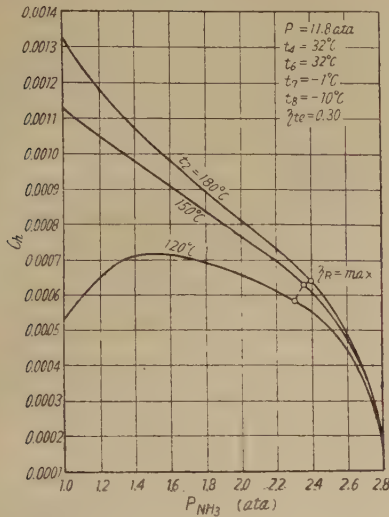
b) $\epsilon_w = 0$ になる溫度は、 H_2O の p に對する飽和溫度に等しい。従つて t_2 の最大値は第 2' 表の如き値となる。



第19圖 t_2 による C_a, C_T, C_k の變化



第20圖 t_2 による C_{RS}, C_{ws} の變化

第21圖 t_2 による C_h の変化

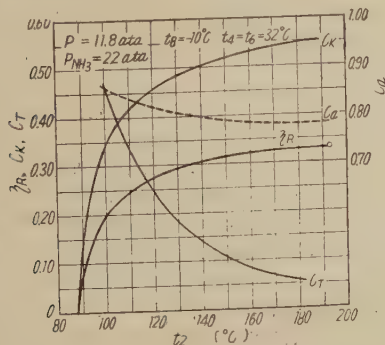
- c) t_2 の最低値にも一定の制限がある。それは $\varepsilon_w \leq \varepsilon_r$ という条件を満足しないとこの冷凍機は成立しないからであつて、 p_{NH_3} と t_4 が定まると第1表より ε_r が定まるからこの ε_r と等しい ε_w を與えるような t_2 を全圧 p に対して求めればよい(第2表)。

例えば $t_4 = 30^\circ\text{C}$, $p_{NH_3} = 1.6 \text{ atm}$ とすれば $\varepsilon_r = 0.3325$ となり $p = 12 \text{ atm}$ とすればこの t_2 の最小値は 94°C となる。

実際には t_2 をこのように t_2 の最小値に近く擇ぶと ε_r と ε_w の差が小さくなるので η_R は著しく低下する。

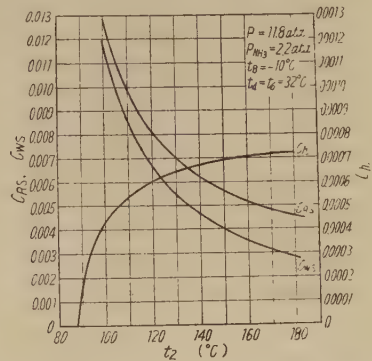
- d) t_2 を上昇せしめれば η_R の向上は大きいがある程度以上あげると η_R の増加は少なくなる。

実際には t_2 は t_2 の最小値と最大値の中間よりやや高めに擇べばよい。(第22圖)

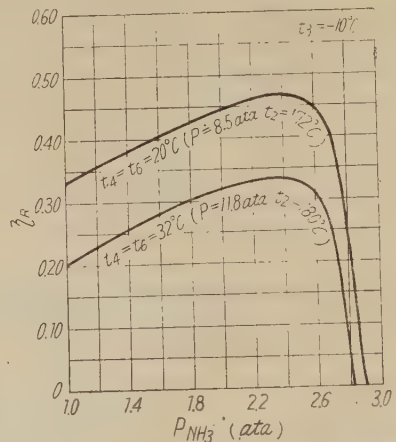
第22圖 t_2 による η_R , C_K , C_a の変化

- e) t_2 を高くすれば C_{RS} , C_{ws} , C_T , C_h は減少する。

即ち Rich Sol. 及び Weak Sol. の流量は著しく少くしてすみ效率は上昇する(第19, 20圖)。即ち heater の加熱熱量一定の場合には溶液の流量を多くして温度 t_2 を低くするよりも流量を減らして温度 t_2 を高く擇ぶ方が效率はよいことがわからう。この際 H_2 の循環量は多少増加するが(第21圖), 熱サイフオンの加熱熱量は全加熱熱量の極めて僅の割合(5~15%) でよくなる(第19, 22圖)。

第23圖 t_2 による C_{RS} , C_{ws} の変化

- f) t_2 を高くすれば C_K は増加する。即ち凝縮器の放熱量を増さねばならぬがこれは當然である(第19圖)。

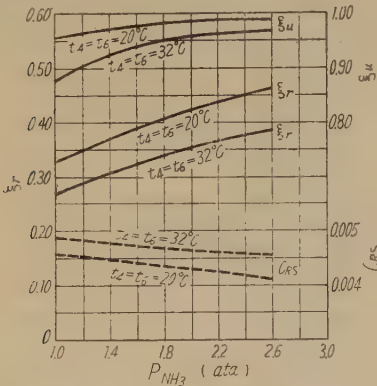
第24圖 t_4 , t_6 が効率 η_R に及ぼす影響

iv 凝縮器及び吸収器冷却温度の影響

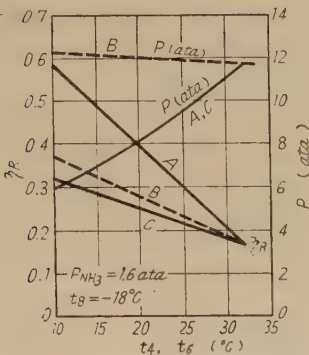
- a) t_2 等を一定に保ち凝縮器及び吸収器の冷却温度 t_6 , t_4 を共に等しく保ちながら變化する時の性能變化の一例を第24圖に示す。但しこれは種々の t_6 , t_4 に対して濃度 ε_r を變えた場合の比較であつて、あの一定の冷凍機で t_4 , t_6 が變つた時の性能變化を示すものではない。この例では全圧 p は t_6 に対する飽和壓力 p_s に等しくとつてある。 t_4 , t_6 を 1°C を低く擇べば η_R は約 1% 上昇する。このことからなるべ

く t_4, t_6 は低い方がよいことがわかる。

- b) 全圧 p は凝縮温度 t_6 が低い程低くかつてよい (第10圖)。
 c) t_4 が低くなれば p_{NH_3} が等しくても ξ_r は増加する。従つて ξ_w が一定でも $\xi_r - \xi_w$ が増加し η_R は増加する (第25圖)。



第25圖 t_4, t_6 の ξ_u, ξ_r, C_{RS} に及ぼす影響 ($\xi_w = 0$)



第26圖 t_4, t_6 を獨立に變えた時の η_R の比較
 A: t_4, t_6 變更 B: $t_6 = 32^\circ\text{C}$, t_4 變更
 C: $t_4 = 32^\circ\text{C}$, t_6 變更

- d) 第26圖でA線は t_4, t_6 を共に變え p も亦 t_6 に對して常に飽和壓力 p_s になるよう (第10圖) 變えた場合の性能である。Bは凝縮器の温度 t_6 のみは 32°C に保ち (p = 一定) 吸収器の温度 t_4 のみを變えた場合を示し、Cは逆に $t_4 = 32^\circ\text{C}$ に保ち t_6 のみを變えた場合 ($p = p_s$) を示す。この圖から吸収器の冷却温度を變える方が、凝縮器の温度 t_6 を變えるよりも影響の多いことがわかる。
 e) 冷凍能力の一部を用いて自然冷却した後の吸収器の温度を更に低下せしめる方法も考えられるが、これは實際に計算してみると効率却つて悪くなる。これは Rich Solution 中に多くの H_2O を含むから

これを冷却するに要する熱量が可なり大きくなることによる。

- f) 同様冷凍能力の一部を用いて、凝縮器を自然冷却した後更に強制冷却する方法も考えられるが、この様にして得られる冷凍能力の増加は、このために必要な冷却熱量に等しいか又はこれより少いから熱量的には利益にならない。但しこのようにすれば全圧 p を引き下げ Rich Sol. の流量をへらしてもよいという利益を齎らすことはできる。

5. 結 論

- 1) H_2 ガスを併用する NH_3 吸収冷凍機の性能計算法を明かにした。この計算方法では蒸發器に於ける平衡状態の氣化割合も考慮されている。
- 2) 蒸發器に於ける氣化割合は一定蒸發温度の下では p_{NH_3} の増加と共に僅に増加するが、蒸發温度によつて定まるある一定壓力に達すると急激に低下し0となつてしまう。
- 3) 蒸發温度が高い程効率 η_R は良くなり、又 η_R 最大になるようなアンモニア分壓 p_{NH_3} も高く擇ばねばならぬ。
- 4) 効率 η_R を高めるには
 - a) Weak solution の濃度をなるべく低くする。Generator 温度 t_2 をあげ全壓 p を低くとる。それには凝縮器の温度は低い方がよい。
 - b) Rich solution の濃度をなるべく高くする。(吸収器の温度 t_4 をなるべく低く、壓力 p_{NH_3} をなるべく高くとる)。
 - c) NH_3 -Rich Vapour の濃度 ξ_u をなるべく高くする (ξ_r をなるべく高く、 p をなるべく低く擇ぶ)。
 - d) 蒸發器における蒸發割合 x_8 をなるべく大きくする。
- 5) 全圧 p は凝縮器の冷却温度によつて定まり、飽和壓力 p_s より僅に高くなるべくこれに近く擇ぶことを要する。
- 6) Generator の温度 t_2 は高い方がよいが、その最大値及び最低値が存在し、その中間よりやや高めに擇べばよい。
- 7) 一般的に云つて Solution の流量を減らして t_2 を高くとる方が効率はいい。
- 8) 冷却温度は凝縮器、吸収器共に低い程よい。
- 9) 以上のような諸注意を拂うと $\eta_R = 0.30 \sim 0.50$ は容易に實現されよう。しかし、壓縮型 NH_3 冷凍機にくらべると著しく効率の低いことは本質的に已を得ない。
- 10) 効率がいよい場合には熱サイフオンの加熱に用いられる熱量の割合は全加熱量の $10 \sim 20\%$ でよい。これがあまり多いようでは効率はよくない。

以上の研究は文部省自然科学研究費の補助によるもの一部である。

附録 I アンモニア吸収冷凍機計算用諸数表

第1表 Rich Solution の濃度 ξ_r

$p_{\text{NH}_3 \text{ ata}} \backslash t_2 \text{ } ^\circ\text{C}$	1.5	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0	.4380	.4660	.4915	.5165	.5420	.5660	.6270	.7020	.8120	.9300
5	.4065	.4320	.4555	.4780	.5000	.5215	.5700	.6230	.6835	.7570
10	.3780	.4020	.4235	.4435	.4640	.4830	.5260	.5680	.6120	.6560
15	.3505	.3735	.3940	.4125	.4315	.4490	.4880	.5245	.5605	.5945
20	.3255	.3470	.3670	.3840	.4020	.4185	.4545	.4875	.5185	.5470
25	.3000	.3215	.3410	.3575	.3745	.3900	.4240	.4545	.4820	.5075
30	.2755	.2975	.3165	.3325	.3490	.3630	.3960	.4245	.4500	.4735
35	.2520	.2740	.2930	.3090	.3245	.3380	.3700	.3970	.4205	.4430
40	.2280	.2520	.2700	.2860	.3015	.3140	.3455	.3715	.3940	.4145

第2表 Weak Solution の濃度 ξ_w

$p \text{ ata} \backslash t_2 \text{ } ^\circ\text{C}$	6	8	10	12	14	16
90	.2525	.2910	.3300	.3600	.3860	.4120
100	.2140	.2575	.2900	.3195	.3435	.3680
110	.1755	.2200	.2525	.2815	.3045	.3280
120	.1375	.1825	.2160	.2450	.2680	.2915
130	.1000	.1455	.1800	.2090	.2325	.2555
140	.0610	.1085	.1440	.1735	.1975	.2210
150	.0260	.0720	.1075	.1375	.1625	.1865
160	(158.1°)	.0360	.0710	.1005	.1275	.1510
170	—	(169.6°)	.0335	.0630	.0910	.1140
			(179.0°)	(187.1°)	(194.1°)	(200.4°)

注: () 内数字は $\xi_w = 0$ なる温度即ち $t_{2\text{max}}$ を示す。第3表 NH_3 Rich Vapour の濃度 ξ_r

$\xi_r \backslash p \text{ ata}$	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50
6	.826	.903	.946	.971	.983	.994
7	.811	.893	.941	.968	.982	.993
8	.796	.884	.935	.965	.980	.992
9	.782	.876	.931	.962	.978	.991
10	.769	.867	.926	.959	.977	.991
12	.744	.850	.917	.955	.975	.991
14	.722	.835	.908	.949	.972	.990
16	.701	.818	.897	.944	.969	.989

第4表 Enthalpy i_1 又は (i_2) kcal/kg

$\xi_r, (\xi_w) \backslash p \text{ ata}$	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
6	159.4	113.0	71.0	34.6	4.9	-13.2
7	165.7	119.2	77.2	40.2	10.7	-8.4
8	171.4	125.6	83.0	45.7	15.5	-3.0
9	176.6	130.6	87.9	50.1	19.8	1.4
10	181.3	135.5	92.5	54.4	24.4	5.8
12	189.8	144.4	100.9	62.2	31.2	12.8
14	197.3	152.4	108.0	68.4	37.5	18.2
16	204.0	160.2	115.2	75.3	43.8	24.6

第2'表 Generator 内 Weak Solution 温度の最大極限値 $t_{2\text{max}}$ $^\circ\text{C}$

$p \text{ ata} \backslash t_{2\text{max}} \text{ } ^\circ\text{C}$	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
158.1	164.2	169.6	174.5	179.0	187.1	194.1	200.4	206.7	211.4	

第5表 Generator に入る Rich Solution の温度 t_1 $^\circ\text{C}$

$\xi_r \backslash p \text{ ata}$	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
6	130.0	103.6	78.0	55.6	38.6
7	136.8	109.5	83.6	60.9	43.5
8	142.2	115.2	89.0	65.8	48.0
9	147.0	119.6	93.0	70.0	51.3
10	152.3	124.4	97.6	74.0	55.6
12	161.4	132.4	105.0	80.8	62.2
14	168.0	139.2	111.2	86.6	68.2
16	174.6	146.0	117.6	92.6	75.0

第6表 吸収器より出る Rich Solution の Enthalpy i_2 kcal/kg

$\xi_r \backslash p_{\text{NH}_3 \text{ ata}}$	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
1.0	13.2	-4.0	-19.8	-33.8	-46.0	-55.4	-62.0
1.2	18.6	1.2	-15.5	-29.5	-41.8	-51.4	-58.0
1.4	22.6	5.2	-11.0	-25.4	-37.9	-47.4	-54.8
1.6	27.0	9.0	-7.6	-22.3	-34.9	-44.6	-51.6
1.8	30.0	12.4	-4.2	-19.0	-31.6	-41.6	-48.2
2.0	33.0	15.4	-1.8	-16.4	-28.5	-38.2	-45.8
2.5	40.2	22.0	5.4	-9.6	-22.4	-32.2	-39.8
3.0	46.3	28.0	11.0	-4.0	-17.0	-27.2	-34.6
3.5	51.6	32.8	15.8	0.6	-12.3	-23.0	-30.2
4.0	56.0	37.2	19.9	4.4	-8.6	-19.0	-26.0

第7表 熱サイフォンに入る Rich Solution の

Enthalpy i_{10} kcal/kg

$t_{10}^{\circ}\text{C}$ \ ξ_r	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0	-34	-40	-45	-50	-53	-55	-54
10	-24	-30	-35	-39	-43	-45	-44
20	-14	-20	-25	-29	-32	-34	-33
30	-4	-10	-15	-19	-22	-24	-23
40	7	0	-5	-9	-12	-13	-11
50	17	11	6	2	-1	-2	0
60	27	21	16	12	10	9	10
70	37	31	27	23	21	20	21
80	47	42	37	33	31	30	31
90	58	52	47	44	42	41	42
100	68	62	58	54	52	51	53

第8表 吸収器に入る Weak Solution の Enthalpy

 i_3 kcal/kg

$t_3^{\circ}\text{C}$ \ ξ_w	0	0.10	0.20	0.30	0.40
0	0	-19	-34	-45	-53
10	10	-9	-24	-35	-42
20	20	2	-14	-25	-32
30	30	12	-4	-15	-22
40	40	22	6	-5	-12
50	50	33	17	6	0
60	60	43	27	16	9
70	70	52	37	27	12
80	80	62	47	37	31
90	90	73	57	47	42
100	100	82	67	57	52
120	120	103	88	78	73
140	140	123	110	100	94

第9表 Generator より発生する NH_3 Rich Vapourの Enthalpy i_5 kcal/kg

p ata \ ξ_r	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
6	408.8	380.0	360.7	346.6	337.0	329.7	323.9
7	416.6	385.8	365.0	350.4	340.0	332.1	325.8
8	423.0	390.5	368.4	353.0	342.2	333.7	327.2
9	429.0	395.0	371.4	355.4	344.0	335.3	328.6
10	434.4	398.6	374.3	357.8	345.9	337.0	330.2
12	445.0	406.8	380.5	362.2	349.3	339.7	332.2
14	453.6	414.4	385.0	365.2	351.8	341.8	334.2
16	461.5	422.0	391.2	369.8	354.7	343.9	336.9

第10表 凝縮器における凝縮液の Enthalpy i_6

kcal/kg

$t_6^{\circ}\text{C}$ \ ξ_u	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
0.7	-34	-28	-24	-18	-13	-7	-3	4
0.8	-23	-17	-12	-6	-1	5	10	16
0.9	-11	-6	0	6	11	8	23	29
1.0	0	6	12	18	23	30	36	42

第11表 ξ_s

$t_8^{\circ}\text{C}$ \ $p_{\text{NH}_3 \text{ ata}}$	-30°	-20°	-10°	0°	+10°	+20°
1.0	.8560	.6155	.5120	.4380	.3780	.3255
1.2	(-30.3°)	.6740	.5470	.4660	.4020	.3470
1.4	(-27.0°)	.7470	.5810	.4915	.4235	.3670
1.6	(-24.2°)	.8600	.6170	.5165	.4435	.3840
1.8	—	(-21.6°)	.6600	.5420	.4640	.4020
2.0	—	(-19.2°)	.7010	.5660	.4830	.4185
2.5	—	(-14.0°)	.8680	.6270	.5260	.4545
3.0	—	—	(-9.7°)	.7020	.5680	.4875
3.5	—	—	(-5.6°)	.8120	.6120	.5185
4.0	—	—	(-2.3°)	.9300	.6560	.5470

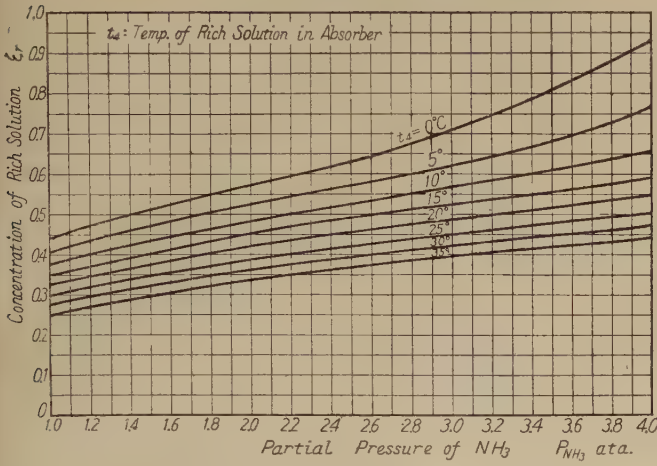
註： 表中 () 内数字は $\xi_s=1.0000$ となる温度 t_8 を示す。

第12表 i_8 kcal/kg

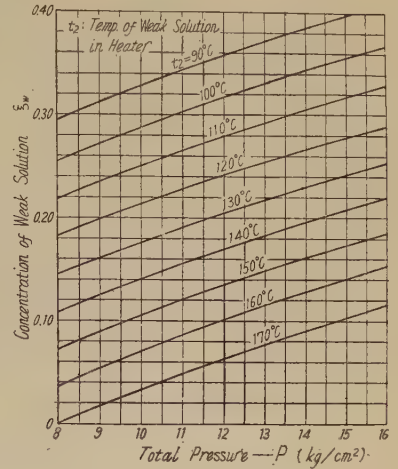
$t_8^{\circ}\text{C}$ \ $p_{\text{NH}_3 \text{ ata}}$	-30°	-20°	-10°	0	+10°	+20°
1.0	-48.0	-64.6	-63.0	-53.4	-41.0	-27.2
1.2	(-33.2)	-57.8	-60.8	-53.8	-42.0	-28.8
1.4	(-29.8)	-49.8	-57.8	-53.8	-42.8	-30.0
1.6	(-26.2)	-37.2	-54.0	-53.0	-43.6	-31.2
1.8	—	(-23.4)	-49.6	-51.4	-43.6	-32.0
2.0	—	(-21.0)	-45.0	-49.4	-43.6	-32.4
2.5	—	(-15.8)	-26.0	-42.8	-41.8	-33.0
3.0	—	—	(-10.8)	-34.2	-38.6	-32.8
3.5	—	—	(-6.4)	-21.4	-34.0	-31.8
4.0	—	—	(-2.4)	-8.0	-28.8	-29.6

註： 表中 () 内数字は $\xi_s=1.0000$ なる濃度即ち第11表 () 内温度に於ける飽和液のエンタルピーを示すものであつて、上欄 t_8 の温度に於けるものではない。

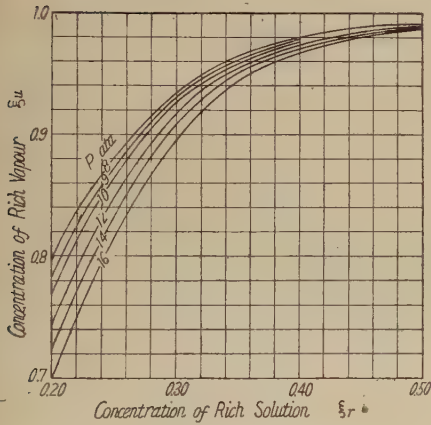
附録Ⅱ アンモニア吸収冷凍機性能計算用諸線圖



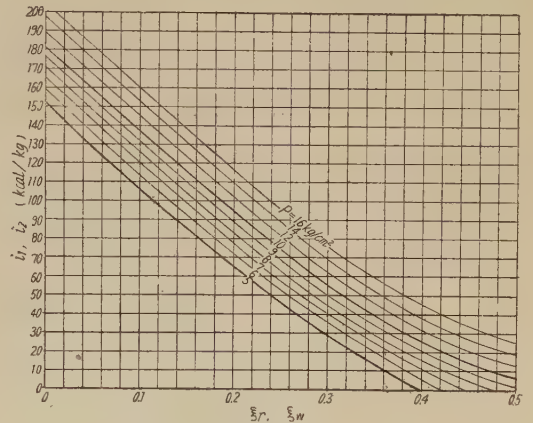
第1圖 Rich Solution の濃度 ξ_r



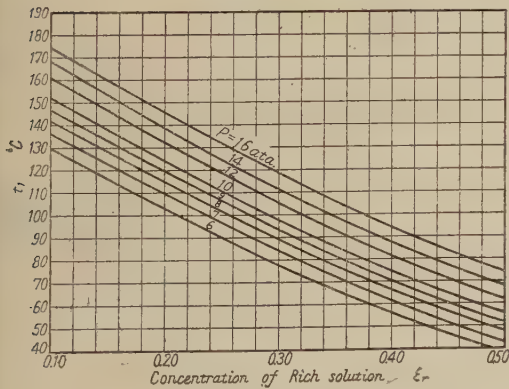
第2圖 Weak Solution の濃度 ξ_w



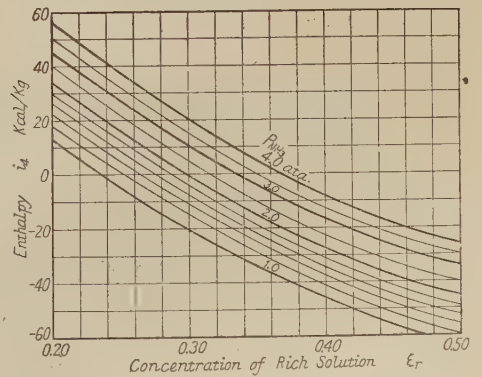
第3圖 Rich Vapour の濃度 ξ_u



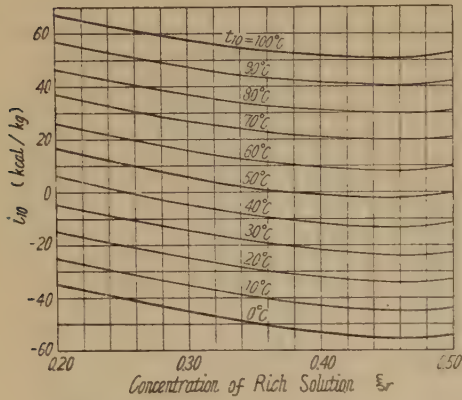
第4圖 Enthalpy i_1, i_2



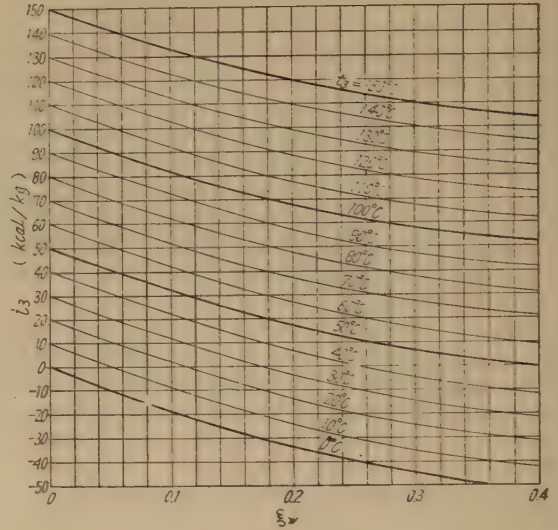
第5圖 Generator に入る Rich Solution の温度 t_1



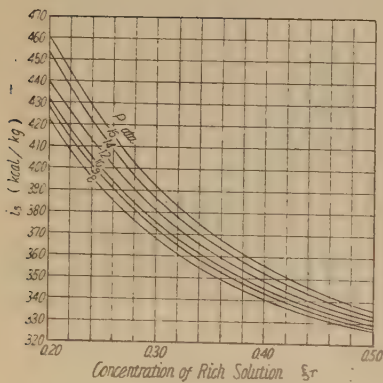
第6圖 吸収器より出る Rich Solution の Enthalpy i_4



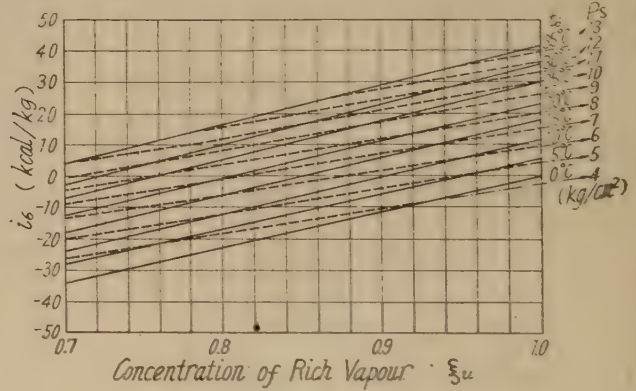
第7圖 熱サイフォンに入る Rich Solution の Enthalpy i_{10}



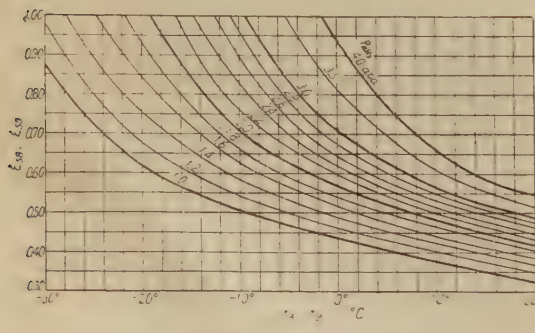
第8圖 吸収器に入る Weak Solution の Enthalpy i_3



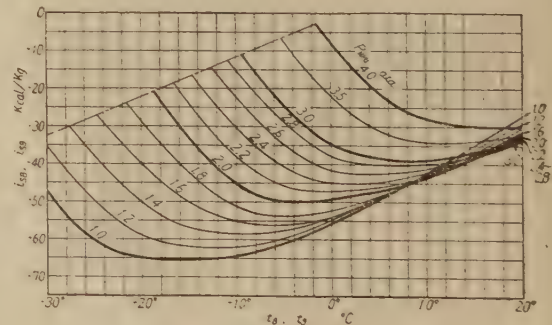
第9圖 Generator より發生する Rich Vapour の Enthalpy i_5



第10圖 Condenser における凝縮液の Enthalpy i_6



第11圖 i_{10} , t_{10}



第12圖 i_3 , t_3

土の突き固めに對する粗骨材の影響¹⁾

(輾壓土堰堤用土に關する研究 第2報)

(1951年5月8日受理)

卷 内 一 大²⁾

Effect of Coarse Material on the Compaction Test of Soil

by Kazuo MAKIUCHI

The purpose of the investigation was to determine the effects of larger size fraction of gravel in soil subjected to compaction on maximum density and optimum moisture content, and to ascertain if it would give satisfactory result to make the compaction test on samples containing the material retained on the No.4 sieve up to 30 mm.

The common practice is to make the test on the material passing the No.4 sieve and make a correction for the effect of the larger material.

Comparative tests were made on samples containing the material retained on the No.4 sieve and samples passing the same sieve.

In the test, the samples containing the coarse material gave greater values for maximum density and smaller values for optimum moisture and greater compaction effect than did the material from which the coarse particles had been removed. This result agrees well with the actual case and indicates that data from samples containing all fractions as received are necessary for application to field conditions.

概 要

土を構築材料に用いる場合には一度土の組織は攪亂されるので、その土の粒度配合、物理的性質、含水量等と共に締め固めが問題になる。通常これ等の性質の實驗室的取扱ひとして、締め固め試験 (Compaction test) がその土の締め固め性質の決定に採用される。

締め固め試験は通常突き固めの方法が採用され試料土は4番ふるい (又は網ふるい4.8mm) 通過のものについて行はれる。³⁾

然し現實には均一の細粒土にのみ限られる場合は本邦では困難な條件の一つになる。従つて $\frac{3}{4}$ "以上の粗粒を含む場合は唯單に粗粒の混合量だけを $\frac{3}{4}$ "篩透過4番篩止 (4.8mm) の材料で置き換へて行つたとしても實際のものと相當異なる條件を示す。本實驗は文部省科學研究費の援助のもとに實驗室的の突き固め試験に於て試料に

含まれる粗粒材がその土の最適含水量及最大密度に及ぼす影響について探索したものであり實驗は中岡、石山、山崎等の學生諸君を煩わした。

1. 實驗方法

通常突き固め試験では A.S.T.M 又は A.A.S.H.O では4"φ、高さ約4.5"、容量 1/30 ft³、J.I.S. では 10cmφ、容量 1/1000m³ の丸型圓筒型枠を用い、タンパーは 2"φ 5cmφ 重量 5 $\frac{1}{2}$ lb (25 kg)、自由落下距離 12" (約 30 cm)、試料は夫々 3 層に分けて各層25回突きである。

Modified A.A.S.H.O の方法は 10 lb タンパーで落下距離 18"、3 層の代りに 5 層となつて居る。又 C. B. R. test 法ではこの突き固め効果⁴⁾ (Compaction effort) と同じ意味で 6"φ の型枠に突き固め厚さ 1" 毎に各層 55 回突きで、10 lb タンパー、18" 自由落下の方法を用いて居る。

- 1) 昭25.10.28. 日本應力學會、應用物理學會、化學機械協會、日本建築學會、土木學會、日本化學會、日本鑛業會、農業機械學會、農業土木學會の「土、粉體粒體」に關する連合講演會に土木學會として概要講演
- 2) 土木工學科教授
- 3) A. S. T. M. D—698—42 T.; Tentative Method of Test for Moisture Density Relation of Soil. A. A. S. H. O. T—99—38; Standard Laboratory method of Test for the Compaction and Density of Soil. J. I. S (日本工業標準規格); A1210; 土の突固め試験方法
- 4) C.B.R test は California Bearing Ratio で路床土の一種の剪斷抵抗比である。
- 5) 突き固め効果はタンパーの突き固めエネルギーを示すものである。

$$\text{突き固め効果} = \frac{\text{落下高} \times \text{タンパー重量} \times 1 \text{ 層突き固め回数} \times \text{層数}}{\text{試料體積}}$$

。本實驗では粗粒子と型枠の内径との關係から4"型枠よりも6"型枠を用い粗粒子の噛み合せ interlocking を充分にした。

骨材は砂利、砂、シンダー等を關東ロームに配しその混合割合による最適含水量及び最大密度の變化及び土の含水量が一定の場合の混入粗粒子量の突き固めへの効果について考察した。

2. 使用材料の性質

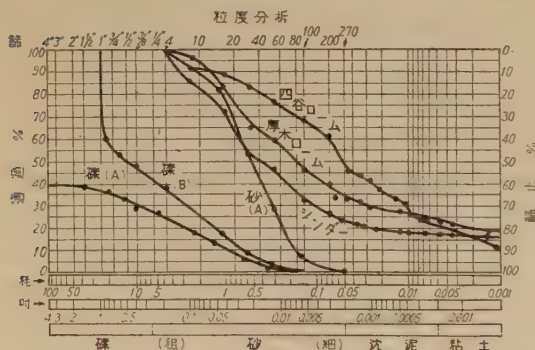
使用材料の性質について概説すれば次の通りである。これ等の値はそれぞれ J.I.S. 又は A.S.T.M. の標準方法で求めた。

(イ) 土

試験の都合上、厚木附近のローム及び都内四ツ谷のロームを用いた(第1表第1圖参照)。

第1表 試料土の性質

區分	比重	液性 限界	塑性 限界	塑性 指數	收縮 限界	收縮 比	自然含 水比
厚木 ローム	2.420	108.8	32.6	76.2	80.1	0.88	72.2
四ツ 谷 ローム	2.545	81.0	52.4	28.6	60.6	—	94.55



第1圖 粒度配合

(ロ) 砂

主として相模川産暗灰色、表面乾燥状態で比重 2.7 含水比 2.0 空隙比 39.5 單位重量 1.937 粒度配合は第1圖砂, A.

シンダー(一度突き固めを行つた後に10#以上の塊は取除いた)。比重 2.318 含水比 31.1 粒度配合は第1圖参照。

(ハ) 砂利

多摩川産砂利で岩質は主として水成岩の珪岩、砂岩、粘板岩である。(粒度配合は第1圖 礫A)但試験に用いた混合材は25mm以上の大粒を取り除いた礫B

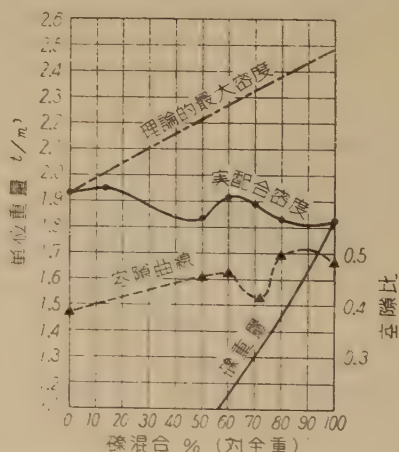
の配合である。又各粒度の影響を知るために25~20 20~10, 10~5mmの3種の單粒度骨材を使用した。

第2表 試料砂利の性質

區分	比重	含水比	空隙比	單位重量
礫B	2.790	1.8	53.6	1.818
25~20mm	2.680	0.85	34.0	1.714
20~10	2.696	0.64	39.3	1.639
10~5	2.696	0.95	34.8	1.676

3. 礫及び砂の混合

非凝集性の兩者の混合については突き固め方法は規定の方法は採り得ない。タンパーの衝撃に伴つて砂は下部に侵積して礫及び砂が分離する。この混合にはコンクリ



第2圖 礫及び砂混合物の突き固め性質

ート用の突き棒を用い充分に噛み合つたと思はれる迄突きあげた。型枠は6"φ、深さ6"容積(實測) 2785cm³である。

混合試験の結果は第2圖になる。

圖の如く理論的計算の結果と實際とは極度の距りを生じて居る。これはある範圍を超した場合、その粒径に大きな差のある二つの非凝集性(非附着性)の物質の混合は細粒の添加による單位重量の増加は不可能に近いことを示して居る。従つてかかる場合の力學的關係を考えると完全に粗粒子の噛み合せによることが判明する。道路の床路盤又は舗装體としてもマカダム式の存在が最大密度のものと異なる條件で存在する理由の一半が見出される。又藤井博士⁽⁶⁾の骨材の最大密度に關する研究の

最大密度に對する曲線からもこの事實は推定される。然し同博士の實驗がフローテーブルの衝撃で砂粒が下部に堆積をなして推積して居るのを認めたかどうかは疑問なので藤井博士の實驗から確言は出来ない。

4. 土とシンダーとの混合

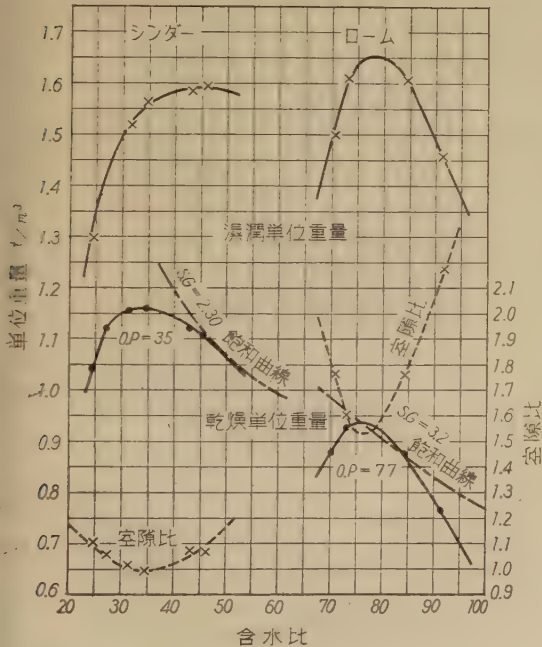
凝集性の土（厚木ローム）に非凝集性の大物同型粒度配合のシンダーを混入して試験した。兩者の粒度配合は第1圖参照。

(イ) シンダー及びロームの突き固め試験

第3圖からロームの最大密度（乾土）は 0.940 t/m^3 最適含水比 76.5% シンダーは 1.60 t/m^3 33.0% である。

(ロ) 土とシンダーの混合物突き固め試験

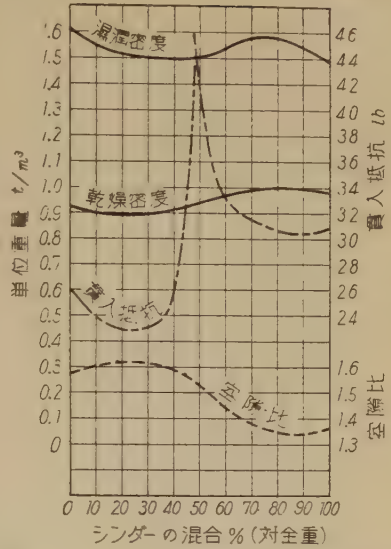
土の含水量を一定にしたものにシンダーの量を変えて加へたものについて突き固め試験を行つた。その結果



第3圖 シンダー及びロームの突き固め性質

は第4圖である。

粒度配合及び比重の近似したものの混合では双方の含水量が一定（最適含水）のときには混合材の密度にさした變化がない。但し貫入抵抗が重量配合 50% 附近で最大



第4圖 土とシンダーの混合物の突き固め試験結果

になる。

これはこの混合材の突き固めによる安定性を示すもので近似した双方の個々のものよりも相當安定度の高いことを示して居る。(7)

5. 礫の混合量による土の突き固めの最大密度及び最適含水の變化

礫の混合量及びの大きさの最大密度及最適含水への影響を知るために礫の混合量を一定にして土の含水量を變化させてその最大密度と最適含水を求めた。礫の混合量はせいぜい重量比で 50~60% (對全重) 迄でそれ以上は混合が困難になり、尙土の含水比の少い間は3の砂と礫の混合の關係に似て充分に粗粒子の間隙を細粒子が充填しない。

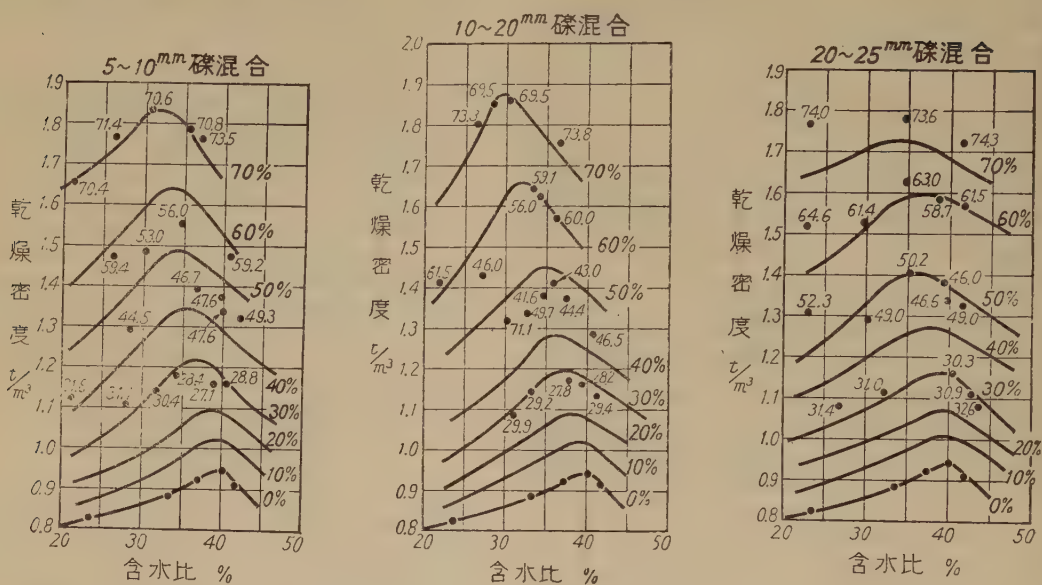
試験の結果⁽⁸⁾については第5圖及び第6圖である。その結果を要約すれば

- 1) 礫量の増加に従つて最大密度に對しての最適含水は一樣に減じて来る。
- 2) 礫量の増加により混合物の最大密度は増加する。
- 3) 粒徑の大きさによる最大乾燥密度の變化は殆んど認められない。
- 4) 粒徑の大きさによつて最適含水比の變化は 3—4 % 以内の變化がある。

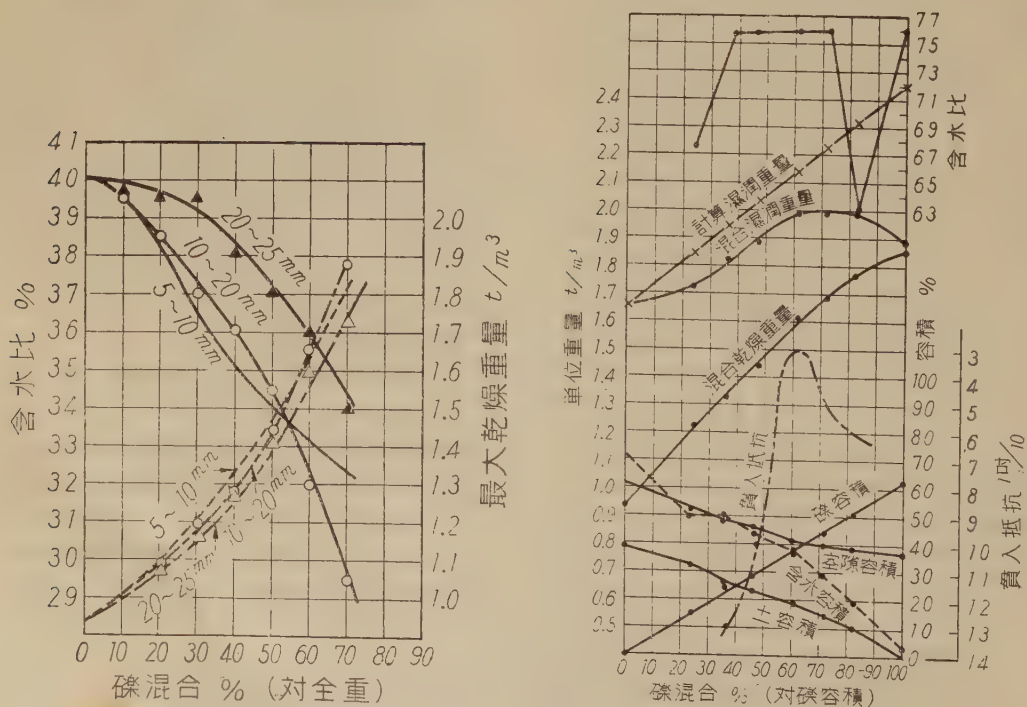
6) 土木試験所報告 第 37 號 昭和 12 年 6 月

7) 但し車輛に對しての摩耗、水に對しての崩壊性についてはシンダーの配合の少い、ロームの多いものの方が少い。これは今迄一般に路面處理に使用されて來た理由と缺陷を證明するものである。

8) Maryland University の E. J. Zeigler も粒度配合をもつた礫の混合に於て大體同様の結果を出して居る。Highway Research Board Vol. 28 1948.



第 5 圖 礫の混合量による最大密度及び最適含水比の變化



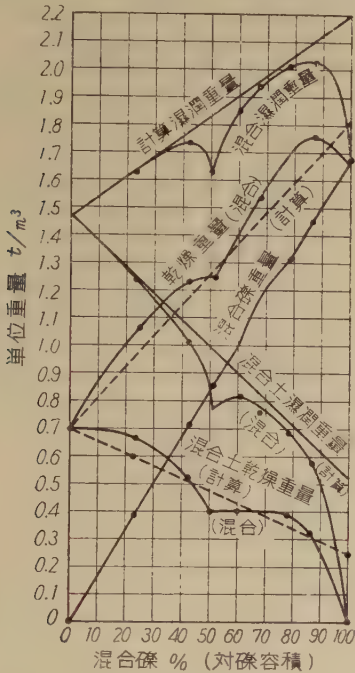
第 6 圖 礫混合割合が最適含水比、最大乾燥密度その他の諸性質に及ぼす影響

6. 一定含水の土の突き固めに及ぼす

混合礫量の影響

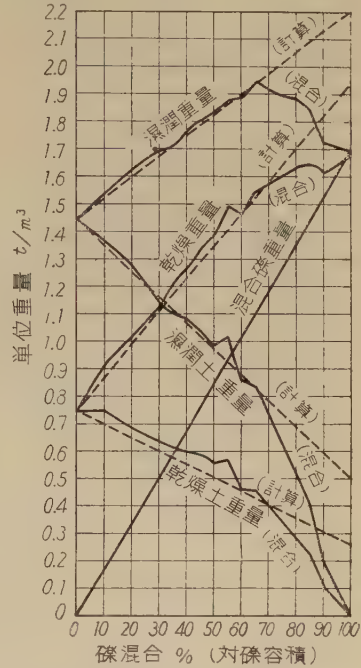
1) 第1圖の礫Bと厚木ロームの混合試験

厚木ロームの含水比を 76.0 の一定とし礫含水比 1.8



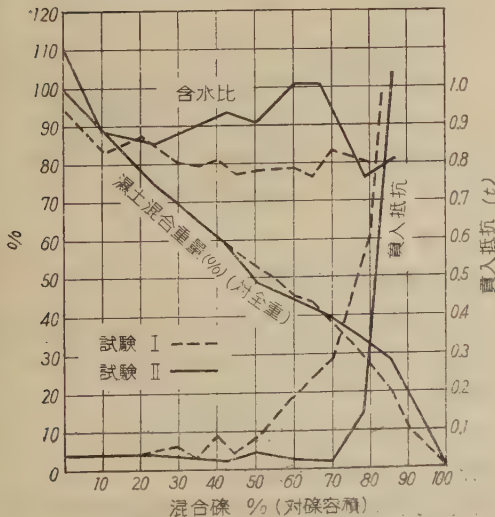
第 7 圖

礫混合量の影響 (四ッ谷ローム
+ 単粒度粗骨材 5~10 mm ϕ)



第 8 圖

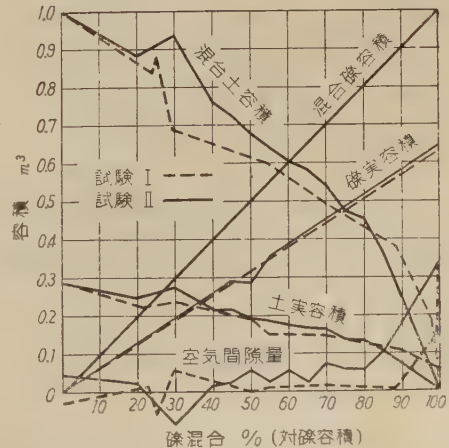
礫混合量の影響 (四ッ谷ローム
+ 単粒度粗骨材 5~10 mm ϕ)

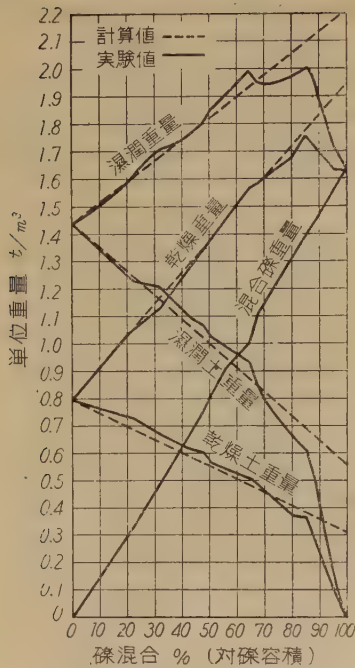
第 9 圖 礫混合量の影響 (四ッ谷ローム + 単粒度粗骨材 5~10 mm ϕ)

(表面乾燥状態と假定) のものを量を変へながら混合突き固めた。その結果は第 6 圖である。

2) 単粒度粗骨材と四ッ谷ロームの混合試験

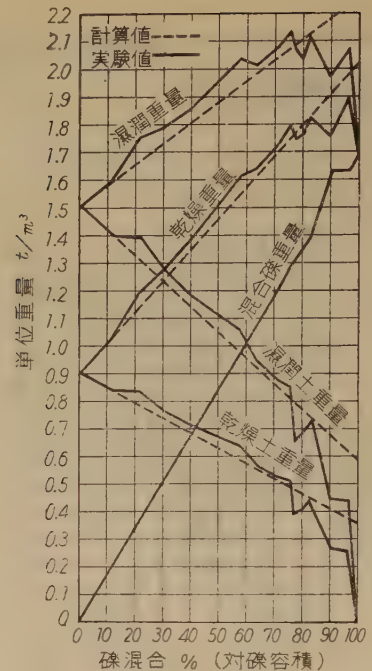
5mm~10mm, 10mm~20mm, 20mm~25mm の 3 種の単粒度骨材の性質は第 2 表, 四ッ谷ロームは第 1 圖及び 1 表の通りである。



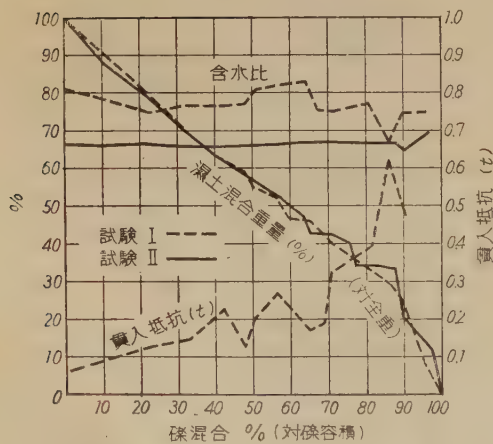


第 10 圖

礫混合量の影響 (四ッ谷ローム+単粒度粗骨材 10~20 mm φ)

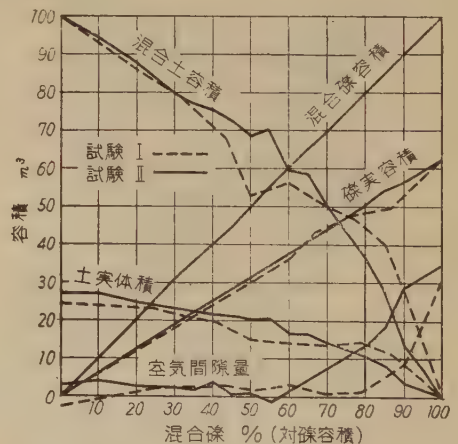


第 11 圖



第 12 圖

礫混合量の影響 (四ッ谷ローム+単粒度粗骨材 10~20 mm φ)



土の含水比を一定にして礫量を變化し乍ら突き固めた結果は

5mm~10mm 第 7, 8, 9 圖

10mm~20mm 第 10, 11, 12 圖

20mm~25mm 第 13, 14, 15 圖

である。

試験の結果を要約すれば

(イ) 型枠の大きさ(徑)と粗粒子の寸法との間に輕微ではあるが突き固めに對しての影響が出て来るものと推定される。

(ロ) 密粒度骨材又は複粒度骨材と單粒度骨材と土との混合は稍その様相を異にする。

密粒度骨材又は複粒度骨材では混合濕潤重量が常に計算濕潤重量よりも少なく空隙が大きい。

單粒度では一般に計算濕潤重量に合致又は多少の凹凸を生じる。

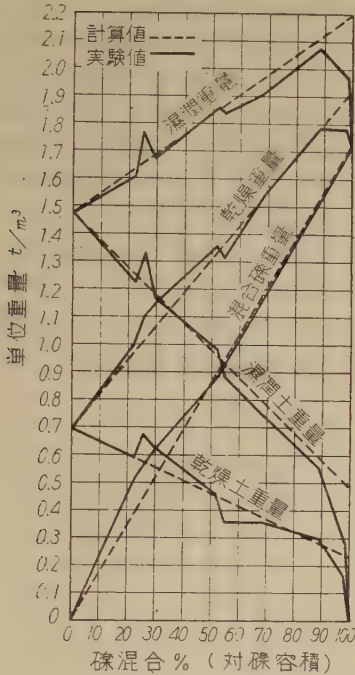
(c) 突き固めの効果は密粒度骨材又は複粒度骨材に對しては單粒度骨材よりも少い。

單粒度骨材の方は礫量の増加につれて土の含水を抽出して行く傾向が強く、土は土のみの突き固め密度以上に壓縮される傾向がある。勿論含水も一時的又は永久的の

壓縮を受けるものと推定される。

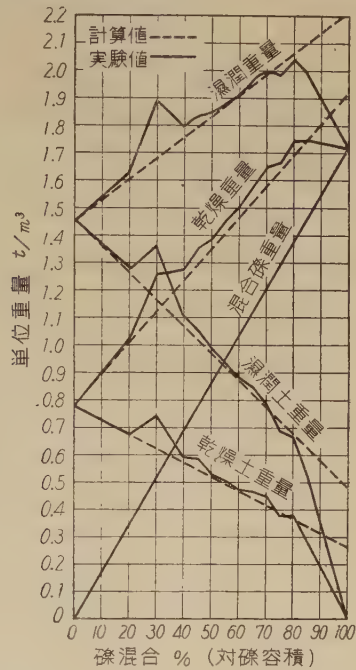
(二) 骨材と土の混合状態はその骨材の粒度又は粒度配合で變るが一般に剪斷抵抗又は摩擦抵抗の最大の點附近をその境とする。單粒度のものについては第 16 圖にその概略を示す。

(ホ) 透水は試験回数少なく明確な結論は出し得ないが一般に透水斷面が減少するために透水量も減少する。

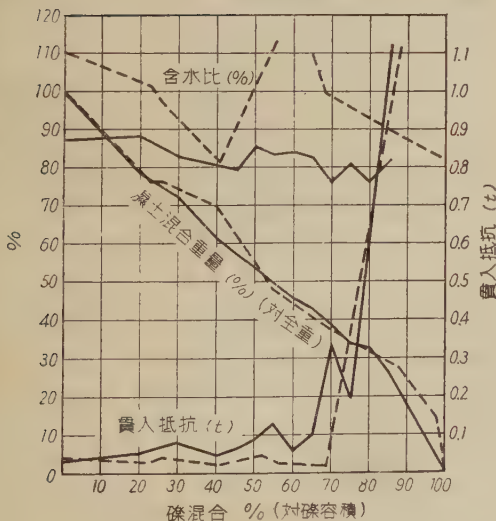


第 13 圖

礫混合量の影響 (四ッ谷ローム+單粒度粗骨材 20~25 mm φ)

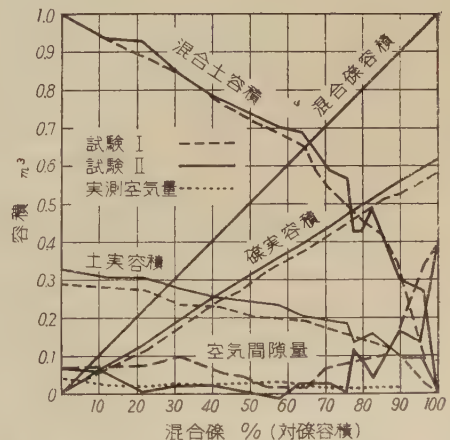


第 14 圖



第 15 圖

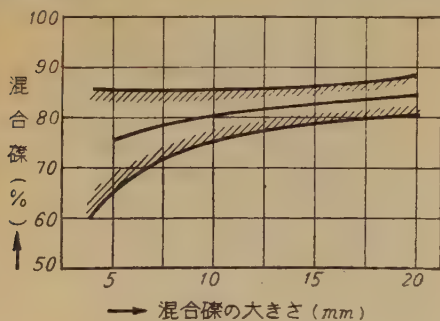
礫混合量の影響 (四ッ谷ローム+單粒度粗骨材 20~25 mm φ)



然し骨材及土の性質即ち吸着性の問題がありその間隙を速に透水せしめるものもある。

7. 結 論

1) 粒度配合近似のものの混合ではその突き固めの効果は大きな変化はない。唯その混合物の性質を變化改良するに止まる。



第 16 圖 貫入抵抗變化の範圍

2) 凝集性土質に砂質の混入は乾燥時以外はその均一性を保證出来ない。

3) 礫と土の混合は比較的容易に出来るが單粒度のものに比して複粒度のものは稍困難である。従つて實際の場合その均一性と施工の面から見れば單粒度骨材を用いた方が合理的である。

4) 突き固めの効果、土のもつ含水に對しての影響から考へれば單粒度を用いた方が良い。又は複粒度を用いても砂質分の缺除したものが効果的である。含水の抽出については餘り期待しない方が安全である。これは現場に於ける實際輾壓を行つた結果から明確にされ得る。

5) その混合物の剪斷（摩擦）抵抗又は支持力と透水その他の安定性を考へたならば、重量比 40—50% 附近迄のものは盛土（耐水性）に用い、70%以上のものは道路に用いるべきである。従つてその場合マカダム式又は複粒度式の路盤又は基層になる。

この場合の混入は困難になる故土の含水を増加するか又は混合方法を考へなければならない。

オリュントス市とその住宅

小林 文 次¹⁾

1

オリュントス市はエーゲ海の北邊を占めるカルキディケー半島にあり、この半島の先が更に分れてパッレーネ半島となる。その根元に位置するギリシヤの廢都である。その歴史については已にギリシヤの史書に散見しているが、²⁾ もともとこの半島は物産が豊かで、葡萄、蜂蜜、木材、鐵産に富んでいた。オリュントスの西南12軒にあるポティダイアはペルシヤ戰役(499—448.B.C.)の頃にこの地方の中心市であつたことは、ペルシヤのアルタバゾスが3ヶ月に亘つてここを攻略せんと試みたことなどから察知されるが、この際オリュントスもペルシヤに抗して攻略され、それまでの住民ポッティアイア人は殺されて、市はカルキディケー人と、トロネ人クリトプロスに引渡されたという(Hdt.)。ここに初めてオリュントスはギリシヤのポリスとなつたのである。この頃の市街は後述する南部丘上にあつたとされている。

その後ペロポネソス戰役(c. 484—425.B.C.)の際にオリュントスは近隣の都市と共に起つてアテナイに抗し、アテナイの海軍をさけるためにマケドニアのベルディツカスの勸めによつて海岸の諸市は、オリュントスに移住し來り、オリュントスはこの地方の中心都市として面目を一新した(432.B.C.)。後述する北部丘上の計畫都市は、これを機會に市が移轉擴張されたものと推定されている。これから約100年、オリュントス市はカルキディケーの中心として榮えたが、前357年、マケドニアとアテナイとの間に戰役が起り、初めはマケドニアに組した後これに抗したため、マケドニア王フィリッポスのために市は焼き拂われた。これが前348年のことであつた。したがつてオリュントス市北部丘上の遺蹟は、この43²⁾年から348年に到る一世紀の間に建設されたものとみる

ことができるのである。

これらの遺蹟の調査研究は、1928年以來4回に亘る遠征によつて實施され、David M. Robinson 教授がその指導に當られ、その結果は13冊にのぼる龍大な報告書によつて發表された。³⁾ 資料の入手難からその全貌をここに紹介することはできないが、能う限りの範圍においてここにその結果を要約し、ギリシヤの前5世紀の中頃から4世紀の中頃に到る都市の實狀と住宅の概要とを窺い、特にこれまで最も缺けていたこの時代の住宅資料を紹介して、吾々のギリシヤ建築の考究に新たな頁を加えたいと思う。

2

遺蹟は先にふれたように南北二部の丘に分れている。南部は南北約400m、東西約100m程の丘上にあり、その南端には石器時代の遺蹟が發見されている。北部はそれより谷を一つ越え、南北約1km、東西500m、に亘る少しく低い丘上にある。この北部の丘は西と北は急傾斜をなしているが、東と南はなだらかな斜面をなし、東方の斜面には市街が延び、一戸建の程度の高い住宅がある。南には谷が一つ入り込んでいて、第2圖にみられる斜交する大通り(Ave. D)はこの谷の底に沿うて計畫されたものである。

南部丘上の遺蹟は判明した範圍では丘の東西の縁に沿うて略々南北に走る通りがあり、これを丘の中央より北寄りの點で略々直角に東西に結ぶ道路があつてこれらがH狀をなし、これらを主道路として町ができていたらしい。そしてその東西の通りの北に集會所があり、又丘の北端に兵器庫の様なものがあつた。しかしこれらの公共建築は5世紀の末には廢止されたらしく、南部の舊市街はその後貧しい人々の居住地として残つた。ここにみら

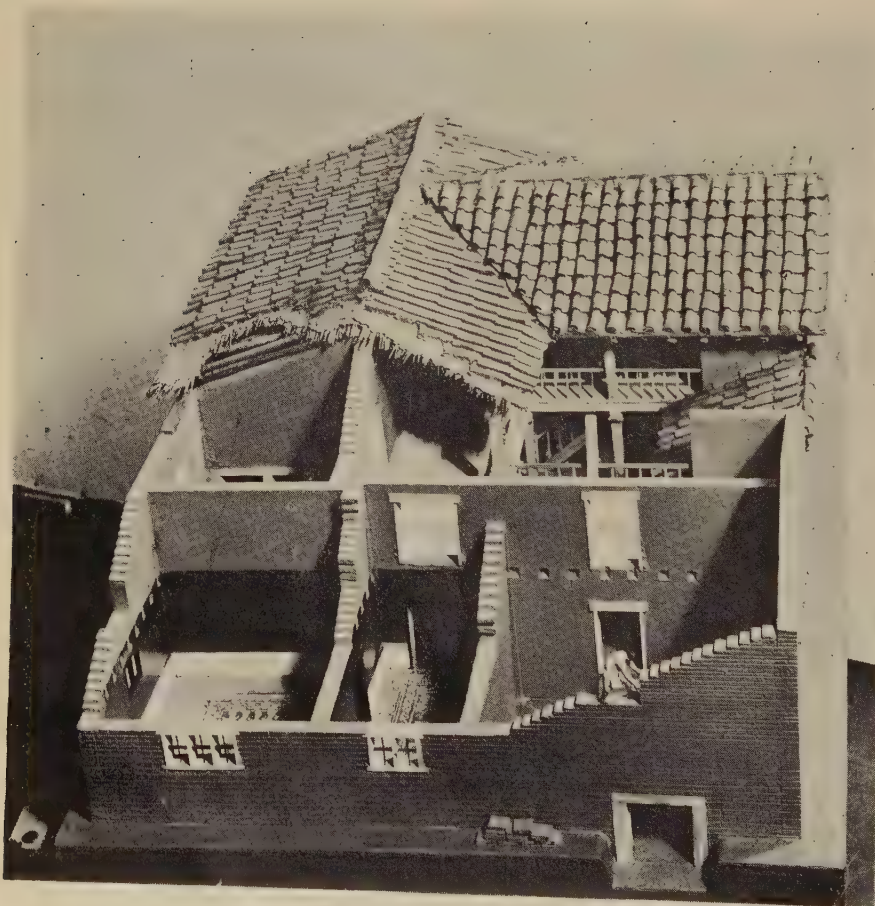
- 1) 工學部助教授、建築學教室、本紹介は昭和25年度文部省科學研究費の補助による研究の一部である。
- 2) Hdt., VIII. 127; Thouk., I. 58, 62, 63; II. 79等。邦文では原隨園博士「ギリシヤ史研究」第2、(創元社、昭和18年)所收の『オリュントスの陥落』がある。
- 3) 詳しくは「建築史研究、第2號(1950)78頁に載せた。その中で特に建築に關するものは下記の3冊である。

Excavation at Olynthus, Baltimore, The Johns Hopkins Press.

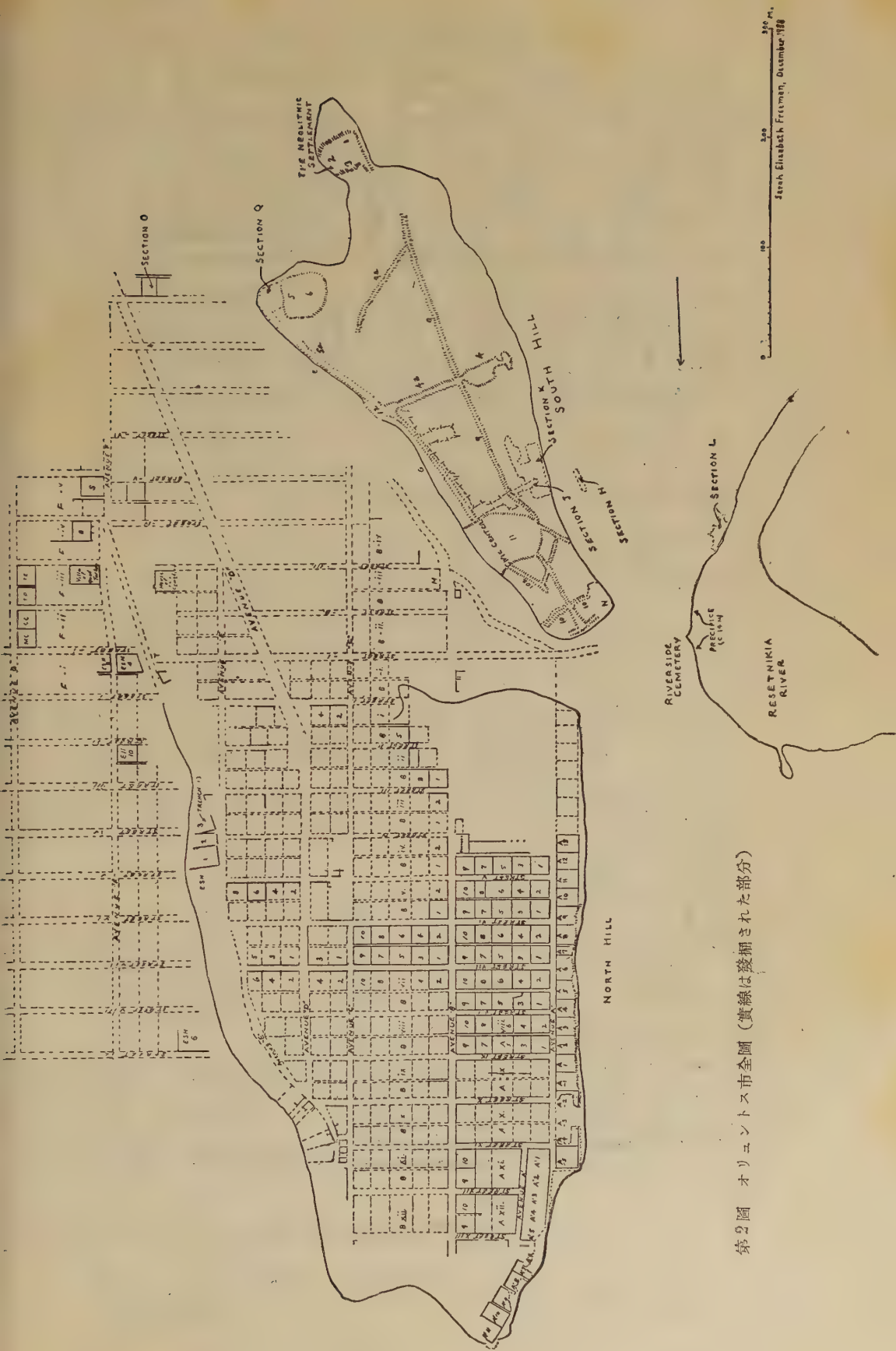
Part II, Architecture and Sculpture: Houses and other Buildings, by D.M.ROBINSON. 1930, Pp. 178, 237 plates.

Part VIII, The Hellenic House: a Study of the House found, with a detailed account of those excavated in 1931. and 1934. by D.M.ROBINSON & J.W. GRAHAM. 1938, Pp. 394, 111 plates, 35 text-figures.

Part XII, Domestic and Public Architecture, by D.M. ROBINSON, 1946, Pp. 519, 272 plates,

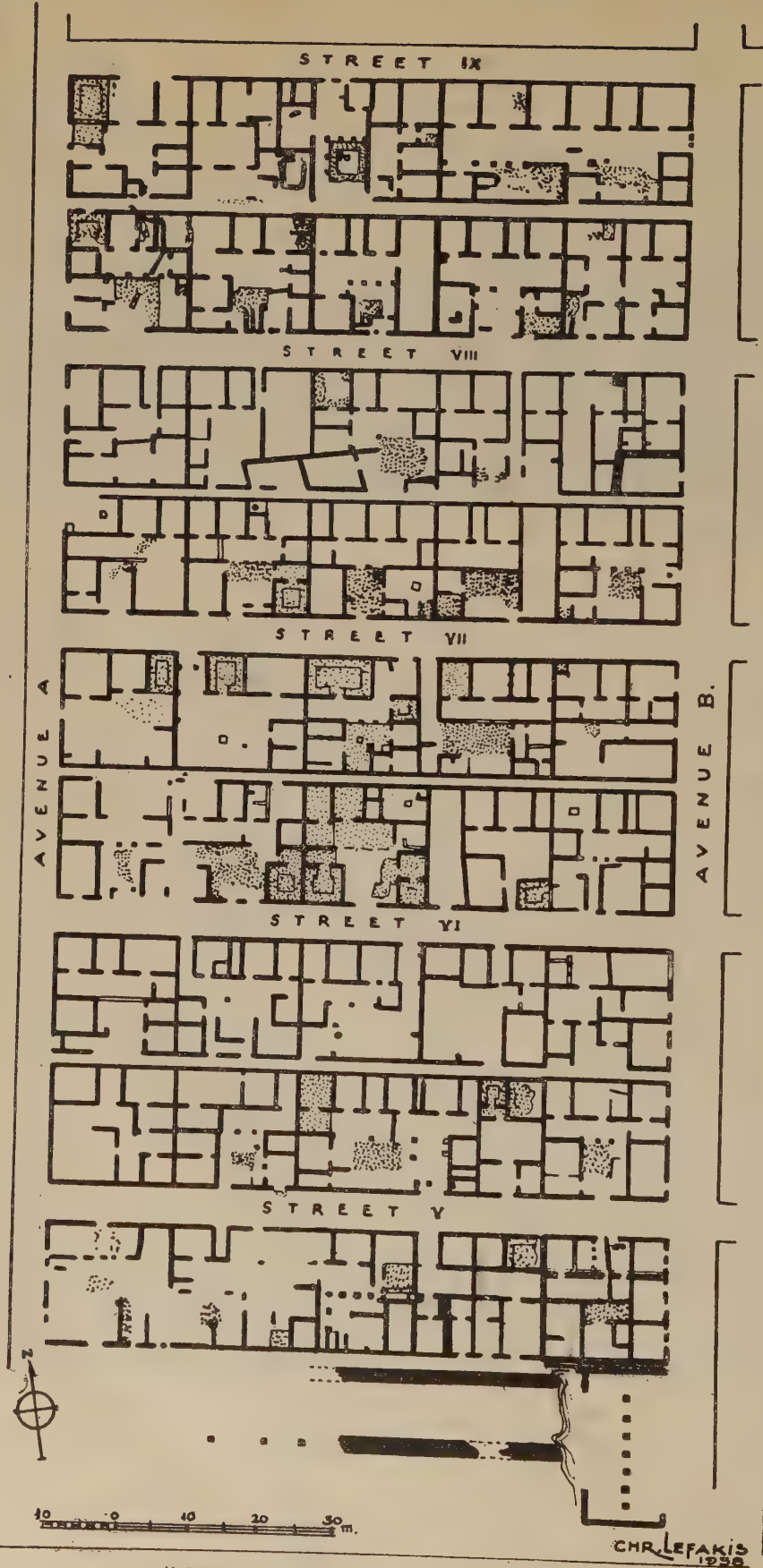


第 1 圖 オリエンツ市住宅の復原模型 (House of Good Fortune).
 上圖は南側々面, 下圖は西から見たもの



第2圖 オリエンツ市全圖（實線は發掘された部分）

Scale Elizabeth Freeman, December 1918



第3圖 (A, IV~VIII) オリョントス市の一部



第4圖 南部丘上の家

れる住宅はいづれも非常に不規則な、しかも雑なものであつて、第4圖にその一例をみることができる。これは南部丘の南東の端に當る家で『3角の前面の家』とよばれ、出入口はその3角の前面と、南方とにあつた。第4圖の記號にしたがつていうと、eとhとは店らしく、その間が入口になつて居り、は入ると巾の廣い廊下狀のg及びfが東西に長くある。これは後述するようにオリュンθος住宅の最も大きな特徴である Pastas に當るものでその巾は3mに及ぶ。b,cは物置らしく、aは最も大きい(c. 4.8m×6.2m)、その用途は分らない、i,m,n,oはいづれも店といわれ、kには浴槽が東南隅にある。残つてはいないが、ここは木造の壁か、又はカーテンで仕切られていたのであろう。k,l共に入口はない様にみえるが、北壁が高く残つてることからみて、その入口は南にあつたものと推察されている。

北上丘上の遺蹟は第2圖にみられるような整然たる町割がなされている。通りは正しく南北と東西に走り、所謂碁盤目狀の道路計畫が立てられているが、これは南部丘上にみられたH狀町割から發展したものとみられ、又ミレートのヒッポダモスによつて創案されたと伝えられ、前5世紀以後ギリシヤ及びローマ時代を風靡した碁盤目狀都市の一例でもあるのである。ただ地勢にしたがつて東南に斜交する通りを配したことは、必ずしもこの道路計畫が幾何學的な無理な適用をうけなかつたことを

示している。私の知りえた範圍ではその城壁は明かでない。もともと戦争に備えて作られた都市であるから、城壁の存在が豫想されるが、地圖中にもその記入がない。ただ西部の縁、急傾斜した丘の縁は、家屋の外壁がそのまま都市の城壁をなしたといわれている。⁴⁾ 都市の門は南北に想定される。北門は Ave. A の先であり、南門の位置は明かでないが斜交する Ave. D の先でなかろうか。後にオリュンθοςの外港となつたメキュベルナイエの道は南門から通じていたものであろう。

道路の幅は南北の通りが廣く約8mであり、東西はややせまく約5mである。この直交する道路によつて都市は南北約38m、東西約95mのブロックに分けられていて、その比は2:5である。しかもこの中央を東西に幅2mの小路が走り、これは通路というよりは排水用のものであつた。したがつて住宅のつくられる敷地は東西95m、南北18mという細長いもので、ここに5軒の略々正方形の家が建てならべられた。これは第3圖にみられるように建て並べられたというよりは、一續きの家を5軒に分割したとみられる建て方で、東西95m、南北18m程の5軒長屋とみればよいのであつて、各戸は仕切壁を共有していた。これは同時に造られたものと推定されているが私には必ずしもすべてが同時であると考えする必要はないと思える。それは材料が日乾煉瓦を主體とし、木造小屋を載せたものであるから、一軒々々と建てつづけてゆく事は容易だからである。

都市の構成において注意すべきことは、北門から南には入る Ave. B が行き詰る地點にある集會所、兵器庫及び泉屋であろう。これらの南には南北120m、東西100m程の廣場があつて、この一郭が都市の中心であつたことは疑いない。(第5圖)

集會所 大きさは内部で南北19m、東西9.5mで2:1の矩形である。中央を南北に一列に柱礎がならび、四周は壁をなし、入口は東と推定される。柱礎上に立つ柱は花崗岩製で20のフルーティングがあり、Doric の柱頭も發見されている(第8圖)。これらによつてみるとその年代は前5世紀の末近くと推定される。構造は石造の基礎積の上に日乾煉瓦を積んだもので、屋根は瓦葺、小屋組は木造であつた。室内の席は東西に北に向つて並び、北端に演説者が立つたものとみられる。特に西壁から出ている3個程の基礎積は、深く日乾煉瓦を積んだもので、パトレスと推定され、これから推して東西にバルコニー様のものがあつたのではないかとみられる。このように中央に一列の柱列のある集會所はオリュンピアにも知ら

4) MAN. ANDRONIKOS, On the Wall of Olynthus, Publication of the Society for Macedonian Studies, II (Thessalonike, 1949), p. 1-14

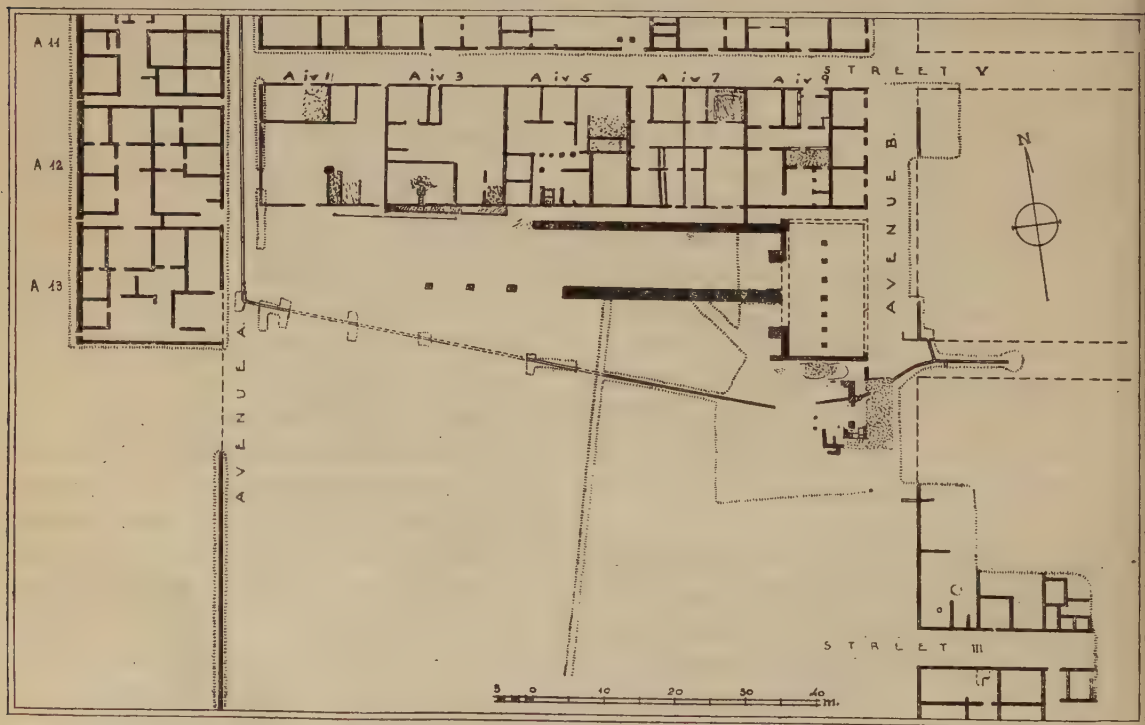
れている。⁵⁾ 序作ら南部丘上の集會所は、半圓形に席が
なり、その議場と門との間に柱廊のある。ミレートの
集會所形式のものであつた。

兵器庫 集會所から西に二列にのびる厚い壁のある建
物で、その用途は明かでない。壁厚は 1.4~1.7m で全
長75mに及ぶ。少くも東半分は兵器庫らしいが、ペルガ
モンにおける如く武器が発見されていないのではつきり
しない。或いは木造の仕切によつて厩にして使用された
ことも、有名なカルキデケ騎兵に關聯して想定されてい
る。⁶⁾ 西半分は発見される柱礎から、Stoa だつたらしく、
又屋根は瓦葺であつた。

泉屋と水道 生活に缺くことのできぬ水をギリシヤ人
達は多く雨水に頼つていた。オリュントスの住宅でも屋
根からの雨水を水槽に集めていた例が発見されている
(A, VIII, 2)。しかし都市國家において集中した人口をま
かなうためには當然上水道の必要があり、サモスにみら
れる様な大工事もなされたのである。オリュントスでも
水源を北方 13km のポリギュロス山脈中に取り、都市の

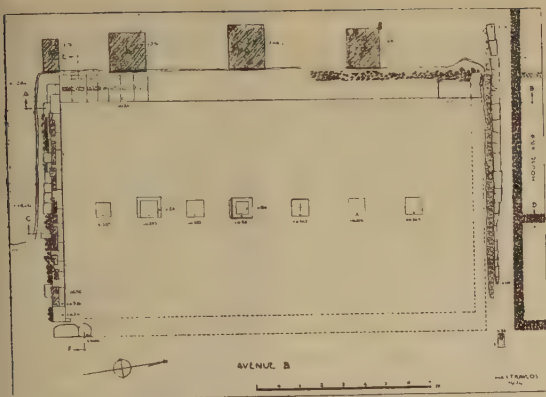
近くでは地下トンネル内に敷設した導管による上水道を
設けている。水は自然流下によつて流れ周囲より 8m 程高
い北部丘上に達するのはサイフォンの理に基いた。⁷⁾ ト
ンネルは北門から入つて Ave. A の下に掘られ、地表下
3m。(第11圖) 内部は高さ 1.56m 幅は天井のヴォールト
の始る點で 1.16m、優に人の通行できるもので、この底
に沿つて導管を敷設し、故障修理や清掃のために 45m
おきに竪穴を設けている。導管は(第10圖)粘土又はテ
ラコッタ製で、1本の長さ90cm前後、外径28cm、内徑
約 18cm で継手は雌型と雄型とを合わせ、更に5cm幅に
モルタルの帶をまわしたもので、管の内面は滑かで、又
継手から水の滲出することもない優秀なものである。モ
ルタルは石灰と少量の硅土からなるものといわれる。

この水道は第5圖にみられるように中央廣場の北西端
から東南に折れ、集會所の南西にのびている。集會所の
南に、これと並んで東向きに泉屋があつたのである(第
9圖)。遺物が少いために泉屋の復原は困難の様である
が、圖にみられるように、水道は地上に出て大きな貯



第5圖 オリュントス市の中心部

- 5) オリュンピアでは矩形の端が片方アプスになつてゐる。中央に並ぶ柱の数は同じく7個である。
- 6) Thonk., II, 79
- 7) 眞のサイフォンではない、管内の水位がU字管において等しい理を應用したにすぎない。眞のサイフォンはローマ時代に表われている。



第6圖 集会所平面図

水槽に入り、貯水槽からは獅子口をした栓から水が流れ出て、市民は水瓶を携えて水汲みにここに集り来つたものとされる。かかる泉屋はコリント等にもみられる。⁸⁾ 前面に2個の柱礎があつて、切妻屋根をのせ、前面にポーチのある泉屋が推定されるのである(第9圖のb圖)。流れ出た水は發掘された下水管によつて東方に向い(第5圖)、St. IVの下を排水されたが、その先は明かでない。又泉屋の南端には小さな水槽がつくられ、その高さは62cmあつてここは動物の一馬などの一ためのものとされている。泉屋の前面はAve. Bにかけて小石で舗装され、水で道のぬかるのを防いでいる。

この水道はおそらく前5世紀の末には完成したものとみられている。そしてサモスのトンネルが10年かかった点からみて、オリュントスの水道トンネルは工事期間も5~10年位と見られている。

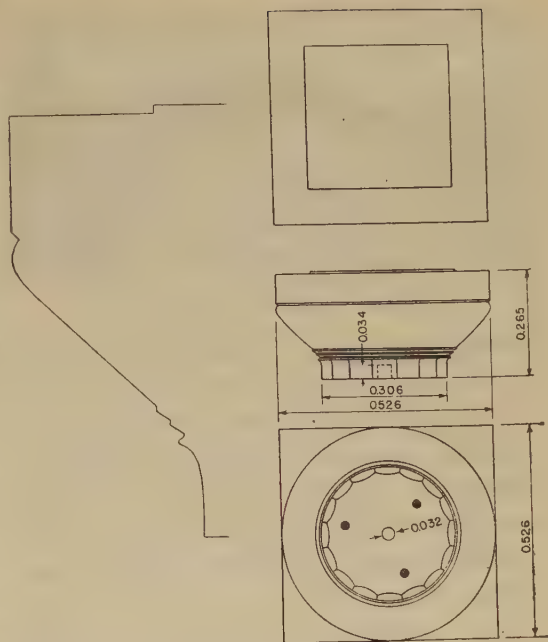
人口は盛時において1万以上とみられているが、これはギリシャ都市としては多い方とみるべきである。

3

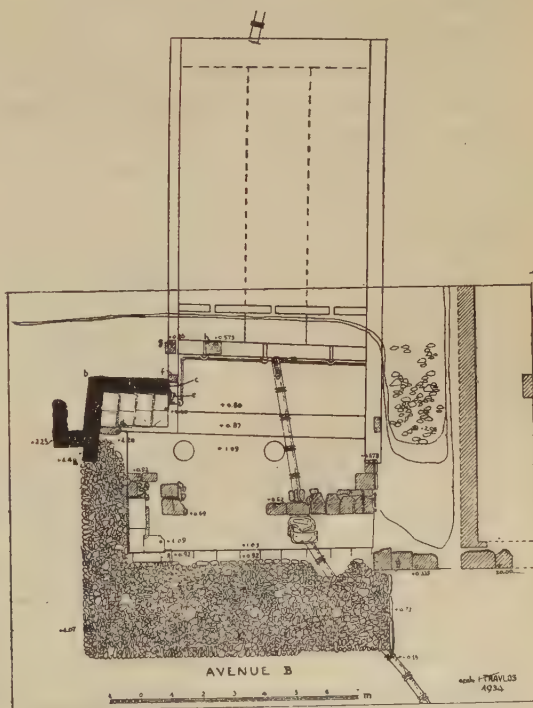
先にふれたように、住宅は細長いブロックを占めて東



第7圖 集会所と泉屋遺跡

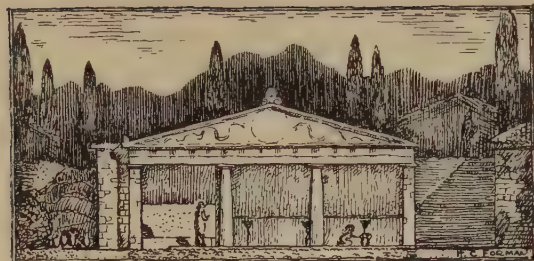


第8圖 集会所柱頭實測圖



第9圖-a 泉屋實測圖

8) R.E. WYCHERLEY, How the Greeks Built Cities, London, 1949, Pp. 227, especially Chapter VIII, Fountain Buildings Fig. 49.



第9圖-b 泉屋想定復原圖

西に五軒づつ二列に並び、丁度十軒が大路にかこまれたブロック内に納つている。一軒の敷地の大きさは一邊約18mの正方形で（約98坪）。この敷地一杯に家が建てられている。構造は小石を混えた亂石で基礎を積み、その上に日乾煉瓦を積んで壁を作り、（厚さ40cm位）木造の小屋をかけ、屋根は先づ葦を以て葺き、その上に粘土をのせて瓦を葺いたものである。外壁は仕上げ塗がされたい。（第1圖参照）

そのプランの大意は略々南北に二分して考えることができる。南にはコートが中央にあり、ここは多く小石敷で水槽やゼウスの祭壇などがある。コートの東西には通例部室があり、又コートの北側は東西に走る Pastas に接し、兩者の境には3~4本の柱が並ぶ。この Pastas に口をひらいて北に3~4個の部室がある。多く平家であるが、二階のあつたものもあり、この場合は多く北半分のみに二階が載つていたとされる。しかし第1圖のように全體に總二階のものもあるが、これは勿論裕福な家であつた。

南にコートをもち、コートに面して Pastas のあるオリュントスの家は、まさしく南向きに配置され、計畫されたものといふことができる。しかも外壁の窓は小さく、北は北風を塞ぎ、冬の太陽は南から家の奥まで入れるように考慮されたのである。クセノフォンのメモリアリアに（Ⅲ, 8）

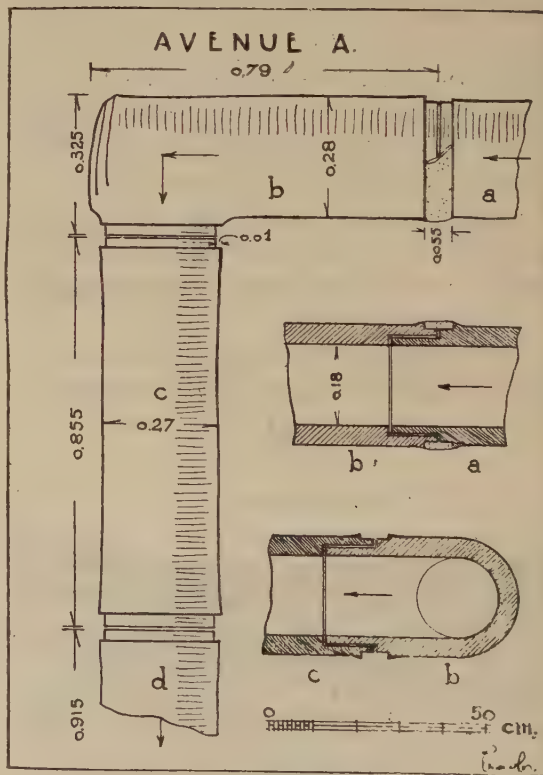
南向きに建てた家では冬は太陽が廊下（Pastas）の中までさしこみ。夏は我々の頭上及び屋根の上を通つて陰をつくる。さればもしかうなるのが良いとすれば、南側を高く建てて冬の太陽があたる様にし、北側を低くして寒い風があたらないように建てる必要があるであらう。（佐々木氏譯による）

といわれた南面論は、まさしくここに實施されているのがみられるのである。同書にあるように『夏は涼しいの

が心地よく。冬は暖いのが心地よい』とする自然の要求の素直なしかも正しいプランニングをみることができる。⁹⁾

入口は通りに面してあり、それが二つの場合は、片方は廣く車馬のためのものである。多く入口をは入るとコート、又は一種の廊下狀の細長いへや、Pastas には入るようになってゐる。

オリュントスの住宅では、プリエーネのメガロン風の主室のように際立つた中心はみられない。發掘者の言葉を借りるならば、プランニングは附加的でなく、分割的といふことができる。つまり一つの中心があつて、そのまわりに部屋を付け加えてゆくやり方ではなく、同じような大さと重要さを持つた部室が集つてゐるのである。しかも全體が正方形であるから、互の部屋の連絡や又相互間に獨立性をもたせるためには、何らかの通路を必要としてくる。プリエーネの住宅ではメガロン風の主室の前庭がこの役を果しているが、オリュントスではコートとそれに接する Pastas (παστας) に比定された廊下

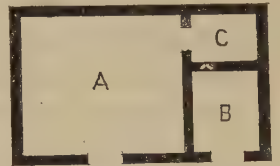


第10圖 上水道導管實測圖

9) クセノフォンはその家政論でも『私は妻に家全體が南に面して開放せられてゐることに注意を促し、それによりこの家は冬期には太陽が十分に當り、夏期には日陰を享受するといふことが明かである』（Ⅸ, 4; 田中氏譯文）とのべている。アリストテレスの經濟學にも同じ趣旨の事がみえる。（Ⅰ, 6）



第11圖 上水道トンネル



第12圖 oecus unit

状の廣間がその役を果たしているのである。¹⁰⁾ 第15圖のd, 第17圖のe等がこれに當る。或場合には部屋として仕事場などに使用されることもあり、(Block A VIII, 7) コートにおかれる祭壇が(コートの神 Zeus の) ここに見出されることもある。(A, VII, 8)

男子達の應接間といわれる andron には床の補装され漆喰塗の美しい部屋が比定される。この床は四周をわずかにあげ、ここに寝椅子がおかれたものとされる。多く南面である。第16圖d, 第17圖a, 第22圖f等。又ここには前室がついていてその獨立性を強めている。オリュントスの住宅では、これに對する婦人室は見當らない。

Pastas と共にこの住宅の最も大きな特徴はその居間(oikos)を中心とする一連の計畫である。これは南部丘上にはみられなく、しかも北部新市街でも新らしいもの程明瞭な形をとつているので、前5世紀の末から4世紀の半ば頃にかけて漸次にはつきりした特徴を形成したものとみられている。即ちこれは oecus unit とよばれるもので、これを形成するものは oecus とよばれる居間と、それに接して設けられた臺所及び浴室とであつた。この三者が一體となつて、色々の變化はあるがプランニングの單位をなしたとみることができるのである。第12圖はその配置の一例であるが、三室の中でA室が最も大きく oecus に比定されるもので、小は4×5mから(A,

VII, 9) 大は8,5×4.9 (A, VI, 2) にも及ぶものがある。壁は仕上塗をしないのが普通で、床はつき固めた土間である、中には恒久的な爐の中央に發見されるものもある。爐には20~30cmの灰層がみられるのみで、この爐は専ら暖房用のものと推定されている。¹¹⁾ ここからは紡錘が出土し、居間として、又婦人達の仕事場であつたろうとみられている。¹²⁾ 入口は多く Pastas に開き、直接コートに開くこともある。

B室は2.1m×1.1m~3.8m×2.6mに到る。壁は仕上塗はされてない。床は土間か小石敷又は板石敷で、中には灰に埋もれた藁のあるものがあり、ここから厨芥が出土している。例えば動物の骨としては牛、羊、山羊、豚、鹿等でこれらが食料とされたことが察知される。入口は Pastas 又はコートに開き、扉がある。A室とB室との仕切は日乾燥瓦造の壁か又はそれと木柱とを混用した壁が使われる。後者の場合には木柱が天井を支え、煉瓦は柱間を埋めるのみで、しかもそれは或高さまで、天井近くでは柱間は空いていたものとされる。これは oecus の煙が臺所を通じてぬけると推定したいための想定である。

室内の煙をどう排出するかについては遺物に徴すると煙出しのための孔あき瓦が發見されている。(第13圖, A, VIII, 8)。その開口部は47cm×23cmの楕圓形をなしている。このような孔あき瓦が要所におかれ、換氣や採光などに用いられたのである。臺所の上に二階がある場合には、臺所は屋根まで吹き抜けにされ、煙突状をなしていたらと推定されている。¹³⁾

C室は平均2.25m×1.5mで大小の差は餘りなく、壁は漆喰で床はセメントで補装されるのが一般である。B室とは壁で仕切られる。ここからはテラコッタの浴槽又はその破片が出土し、直ちに浴室とみなすことができる。多くの場合浴室は外壁に接し、これは排水の便に對する考慮からである。浴槽は長さ約1m幅60cm位が普通であつた。ここで冷水浴(温水浴の場合もあつた)をしたものであろう。水浴がこのように各戸においてなされ

10) Miss. B.C. RIDER, The Greek House, Cambridge, 1916, Pp. 272, pp. 229-232
Excavation at Olynthus, Part XII, pp. 466-467 (Reference List of Some Greek Words Concerned with the House)

11) 序年ら近くのサロニカについて理科年表をくると、気温は年平均15.8度。最低は1月の5.1度、最高は7月の26.3度、湿度は12月の73%が最高で、7月の55%が最低。降水量は全年543耗である。

12) VITRUVIUS, VI, 7, 2, には下記のようにオエクスの用途がみえている。(森田氏譯244頁)
この處には奥へ向つて大きなオエクスが造られる。そこには主婦が糸紡の女達と座を占める。

13) ARISTOPHANES, 蜂, 137~155

る程普及し、又要求されたことは注目に値することと思ふ。

この oecus unit はオリュントス獨特のものであつて他にその例をみない。したがつてこの發展を追求することはできないし、そのいみでは地方的な特徴というべきかも知れない。しかし居間と臺所と浴室の三者を結びつけたプランニングは、極めて吾々にとつて興味深く、西洋住宅史上において重要な位置を占めるものと思う。ギリシヤ人は神殿とか公共建築には情熱を



第13圖 孔あき瓦實測圖

傾けてその藝術的才能を遺憾なく表わしたが、一度その住宅をみるならば極めて簡素なものといわれて來た。その材料とか外觀において簡素であるとはいえ、このオエクスユニットにみられるような、最も日常的な居住部分のプランニングは、洗練されて一つの型にまで昇華したものとてその建築家としての秀れた才能を偲ぶうものといふことができる。

二階のある場合は、二階に寢室があつたものとされる。階段は木造で、コート又は Pastas にかかつていた(第1圖)。コートの排水は土管によつて裏道、又は通りに流した。便所として一定の設備は發見されてない。ただ第14圖にみられるような水流しが發見され(E. II. 10)。これは小便を屋外に流すものとされた。

用水は先にもふれた様に公共の泉屋から汲んでくる以外、雨水をうけて水槽に貯えるものがあつた。これは地下に掘られたものでその口は徑 75cm. 深さ 4.75m, 底の徑 1m, という大きなものもある。又厨芥その他のごみ捨場として裏道に掘られた穴も確められている。

住宅の遺跡からは花崗岩又は砂岩の板石にかかれた證文が出土しそれによつて家の持主の名や賣買値段などを知ることができる、それには次の様な例がある。(第1表)

これらをもつてみると都市の中心部では約400drachma が普通の様であり、Civic Center に近く、大通りに面した家程高いことが知られる。ここにあげた House of

第1表 (値段の單位は drachmas)

家の名	値段	位置	備考
H. of Zoilus	1200	D. V. 6	丘の東縁
D. V. 4.	900		St. V に面する。
H. of Moiragenes	2000	A. IV. 7	この家は通常の家を二分してゐるから割安で、全體なら倍になる Ave. B と St. iii に面する 角地。Civic Center に面する
B. II. 2.	4000		
A. IV. 1.	4500		Ave. A と St. V に面する 角地。Civic Center の隣
A. V. 10.	5300		Ave. B と St. V に面する 角地、知られた中で最高

Moiragenes は正方形の家を東西に二分しているが、又場合によつて二軒分を通して一軒としているものもある(A. VII. 7と9)。この場合は容易に察せられるように Pastas が相連絡しているのである。

又通りに面しては店があり、店と家の内部とは完全に獨立している。これらは貸店として貸されたものであらう。

日乾燥瓦の基礎となつてゐる石積には4種類の積み方があつた。第26圖に示すものがそれである。

4

上記のオリュントス住宅の特徴を理解するために以下簡単に實例について略説しよう。

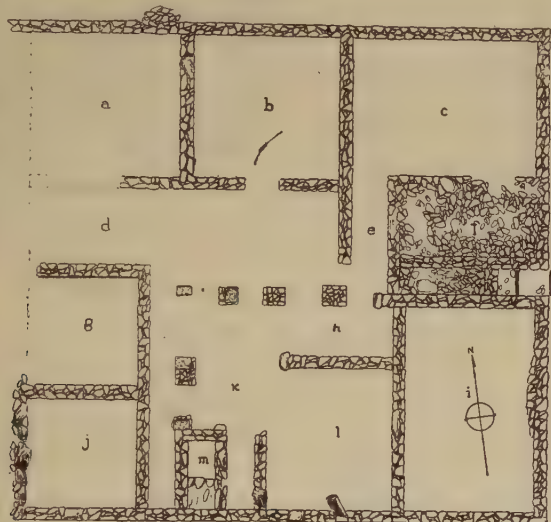
Block A. IV~VII. (第3圖)

ここは Ave. A と B にはさまれ、Civic Center の北に位置する一部である、Civic Center の北に並ぶ住宅は例外として一列をなす他、他はすべて先にふれたように大路にかこまれた區劃内に、二列に背中合せに五軒づつの家が整然と並んでいるのが見られる。發掘者はその東西に走る外壁がいつも一體をなしているの、列毎に同時に建てられたものと推定している。ここに見られる45戸についてみても、一として同一のプランはない。一定の計畫の下に同時に建てられた部分においても、その各戸のプランは各戸毎に様々に變化をつけられたことが知られる。これは古代都市の理解の上で極めて示唆に富むものと思う。

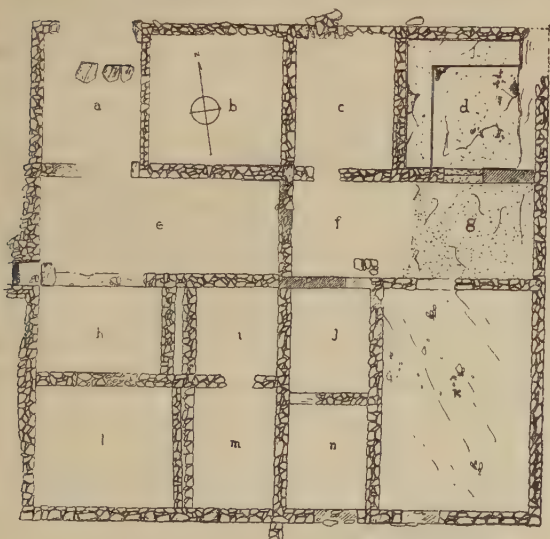
A. IV. 5, House of Ariston, (第15圖)

St. V に面する。花崗岩の銘板によつて Ariston の家であることが分つたもので、St. V から a 室に入口があつた筈であるが、基礎積部分しか残つていないためには

つきりしていない。dが Pastas であつて幅約3m。c, f, e が oecus unit を形成する。cは oecus でその南にfがあり、fは南北の二部に分け、共に小石敷北部は広く、臺所とみられ、南部からは浴槽の破片が出て浴室とみられる。eは廊下でこれらの組合せは oecus unit の一の變形であつた。kがコートであつて、コートの水は1室の下を通る管によつて南の裏道に排出されたらしく、その管の一部が1室の南壁に残っている。



第15圖 A. IV. 5. 住宅平面圖



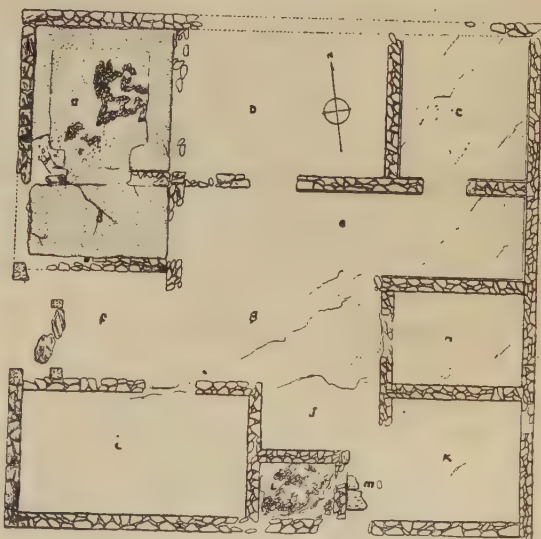
第16圖 A. IV. 7. 住宅平面圖

A. IV. 7. House of Moiragenes (第16圖)

上記の家の東隣である。珍らしく東西二戸に分割され先にふれた様に別々に賣買の対象になつたものである。入口はa及びm, n, kにあつた。入口aをはいるとPastas, eに出る。この二戸に分割された家にはコートはない。東部分では入口はいずれも南の裏道(この場合では兵器庫に接する道)に面し、kは oecus でjは浴室、臺所はその遺物からみてcとされる。cの東dは鋪装された andron で4.4m四方、幅9cmの寢椅子のための低い壇が北と西に残り、gはこの andron の前室に當る。m及びiは裏道からは入る店舗とみられ、兩室の西壁に残る二重の基礎積は、陳列棚のためと推定されている。

A. VII. 1. House of Zopyrus (第17圖)

Ave. A に幅3.5mの開口をもつ。ここには扉がなく、1mは入つて玄関があつたもので、訪問者は許可のあるまでここで待つていた所である。¹⁴⁾ ここには扉が二つあり、北の扉は幅1.45mで人の通るものであり、南の扉は幅3mで、家畜又は車を通すものである。入口から入れは直ちにコートgで、その北には Pastas e に連絡していた。andron a は5m四方、鋪装され、南に前室dがあつて口を Pastas に開く。b, c, hは居室らしい。kは oecus で、この一隅に残る板石のしかれたmは浴室、lは臺所とされる。



第17圖 A. VII. I. 住宅平面圖

14) プロタゴラスにこのような光景がのべられている。

A. VII. 2 (第18圖)

St. VII と Ave. A とに面する角地であつて、入口は St. VII に面してコートに入るものと、Ave. A に面する h とにあつた。比較的よくオリュントス住宅の型を示すもので、南半の中央にコートがあり、小石敷で、ここから土管が裏道までのびている。この土管の裏道に出ている方向は西向であるが、この邊の下水がいつでも東向の點からみて、これは下水ではなく、屋根の雨水をコート内の水槽に引くためのものとされる。この事は又その繼手がセメントで封ぜられ、入念であつて下水の場合と區別しうることからも立證されている。(しかし水槽は發見されなかつた)。コートの北側には4本の柱礎がある。柱は勿論木柱であつた。f は Pastas で andron は a である。b も舗装され、東南隅に小さい水槽がある。c は板石がしかれ、既と推定される。¹⁵⁾ oecus は n で k が浴室。j が臺所であつた。e は門番の部屋とみられる。他から獨立して l は店舗とみられている。



第19圖 A. VII. 3. 住宅平面圖

たのであろう。b 室からは火鉢も出土している。j はセメントで舗装されたらしく、oecus とみられる。k は臺所で、その北の一部が浴室になつていた。l は浴室に m, n, o の人達が oecus を通らずにゆくための通路とみられる。k 室からはアテナイ人の名入りの dicast's ticket が出土し、アテナイ人がここを訪問し、滞留したことが實證される。|

A. VII. 5, House of Euboulides (第20圖)

上記の家の東隣で St. IX に面する。入口は a にあつたらしい。この特徴はコート k が少くも三方以上に柱廊をもつていたことで、その北の Pastas e と共に、Pastas-peristyle type とよぶにふさわしい。更に f も南北に走る Pastas であつて、その東に i, j などの部屋が並んでいる。これは丁度東西に Pastas があつてその北に部屋がとられる通例のやり方を直角だけ廻したプランニングとみることができる。oecus は d (5m 四方) で、g が臺所、h は浴室であつた。この場合では oecus えは臺所を廻つてゆくわけである。Peristyle には柱礎があるのみで、したがつて柱は木製とみるべきである。

このような Peristyle 形式はブリエーネ住宅並びにローマ住宅では普通のものであるが、オリュントスにおいては珍らしいのである。

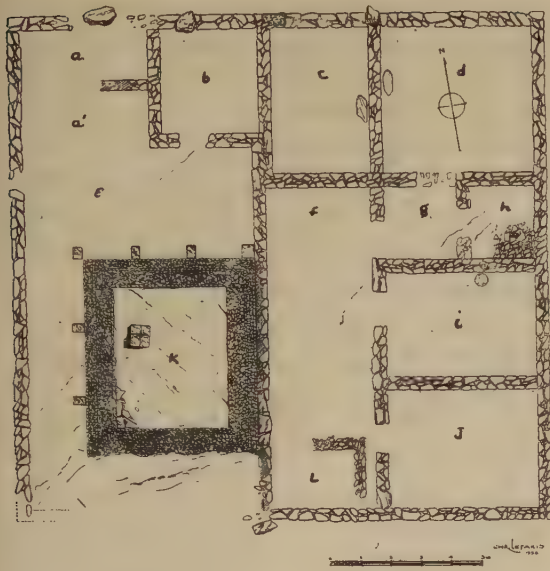


第18圖 A. VII. 2. 住宅平面圖

A. VII. 3. House of Bachon (第19圖)

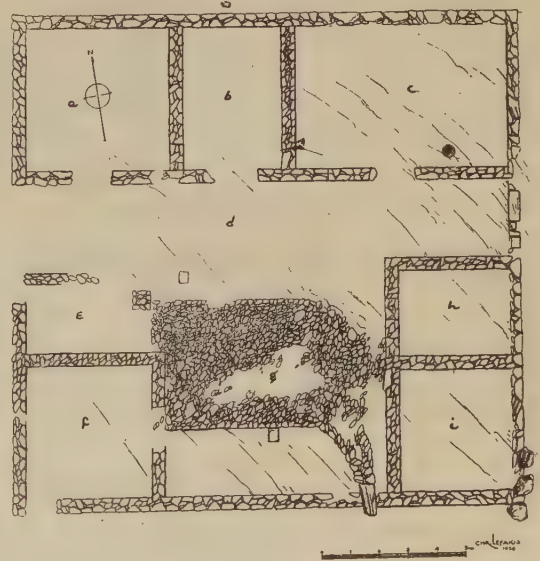
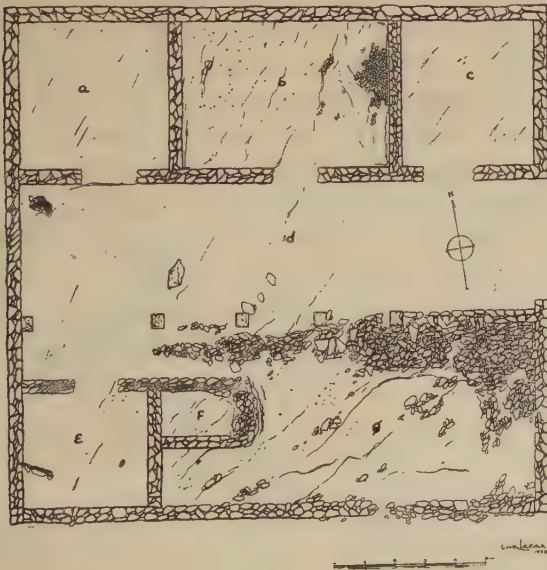
A. VII. 1 の東隣で St. IX に北壁に接するが、入口は a とされる。入口附近から出土した銘板によつてこの家は Bachon が Zopyrus から5年4ヶ月を 900 drachma で借りたものである事が判明している。西の中央にコート g があるのみで Pastas はなく、プランニングが複雑である。b~i までの部屋は居室であつて、家族が多かつ

15) この舗装された既についてクセノフオンの『馬術』(IV) にのべられた注意書を想起すべきであらう。



第20圖 A. IV. 5. 住宅平面圖

A. VII. 7 及 9, House of Loom Weights (第21圖)
共に St. IX に面した二戸であるが、Pastas が續いて
いる點と、この Pastas から夥しい紡錘が発見された點



第21圖 A. VII. 7 (左) と 9 (右) 住宅平面圖

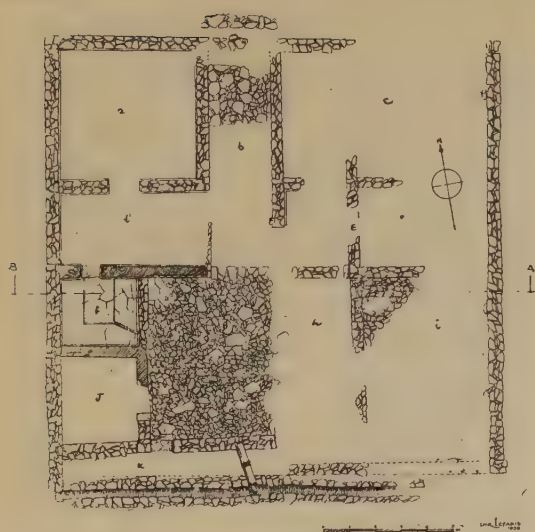
B. VI. 7, House of Asclepius (第22圖)

北を St. VII に面するもので、入口は b である。Pastas は小さい。通路の突當りにコート h がある。d は a 及び andron, f の前室で、この andron は市中最小で 3m×2.65m であるが保存がよい。四周の壁は赤い漆喰塗、床は鋪装され、排水の溝が東南隅にあつて室外のコー

トが特徴である。(この家からは計297の紡錘が出土し、これは1938年度に発見された全数の半数に當るといふ) 入口は何等その跡はないが a 室にあつたとみられる。或いは No. 9 の Ave. B に面し、Pastas に直接開いた入口からは入つたとも考えられる。No. 9 のこの入口は二つに人と車とのために分けられている。No. 7 のコートは大きく (11m×6.2m)、北縁に5個の柱礎がある。e は非常に小さいが oecus とみられ、f は浴室であり、その南に臺所があつたらしいが明かではない。この Pastas から數多い紡錘が発見され、少くも5臺の織機がおかれ作業場として使用されたことが知られる。又 b にも1~2臺の織機があつたらしい。

No. 9 は臺所、浴室共になく、こちらは全部仕事場として使用されたらしい。コート g は小石敷で、排水管が裏道まで出ている。特にコートの南に柱礎が一個あつて南側にも廊下様のものがあつたのかも知れない。プランの上からみて、又 Ave. B に面している點からも h, i 更に f は店舗とみられよう。e には壁の位置をはなれた基礎積が北東隅にあつて、商談に使用された机ではないかと發掘者はのべている。

トに出る。コートの南にも排水管があつて裏道に出ている。a は居間らしく、その天井も漆喰であつたことが察せられる。oecus や臺所などは明かでない。この andron の入口近くから Asclepius の像が出土したことから家の名がつけられた。



第22圖 B. VI. 7. 住宅平面圖

Villa of Brionze (第23圖)

Ave. F と Ave. G との間、St. - VI に面するもので、入口は南面にあつて例によつて二つに分けてある。扉の柱の礎石があり、礎石の様子から推して扉は内開きであつたことが立證されている。コートは h で排水管が入口の下を通つて大路に出ている。e が Pastas で、コートとの境には4個の柱礎があり、Doric の柱頭が2個出ている。木柱で石造の柱頭をいただいていたのである。d が andron であり、f はその前室であつた。oecus は i で、その南には臺所 j と浴室 k とがあり、浴槽の大きさは 1.13



第23圖 Villa of Brionze 平面圖

m×0.68m で平底、南壁に接して径 30cm 程の平たいかめがありその中に灰が多量残つて居り、ここで湯を沸して温浴をしたものとみられる。臺所と浴室との間に壁の跡はない。i と j との間には礎石様のものであるだけで基礎積がなく、單なる日乾煉瓦積とみられる。b には入念な小石のモザイクが床にみられる。意匠は幸福の輪を表わしたもので、この種モザイクはオリュントス住宅で屢々みられるものであつた。Pastas の東北隅にある石は祭壇とみられる。この家には二階があつたらしく、コートに g 室に接して階段のあつたことが、臺石の存在などから推定されている。家の名はここから見事な青銅の桶、小刀などが發見されたことに由つてゐる。

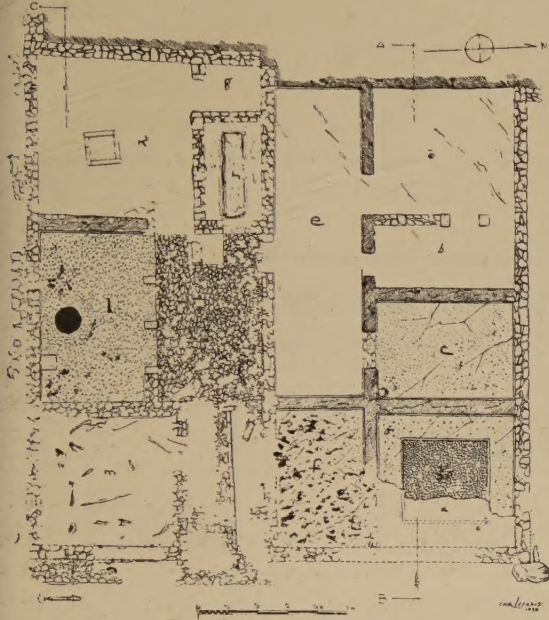
House of Many colors (第24圖)

Ave. G と St. - I とに面する角地で、北東隅に大きな石が外壁の外においてあるのは、車等に對して角を守るため、この處置はよくみられるものである。この家はオリュントスの中でも最も新しいものとされる。又南壁が二重になつて補強されているのは珍らしい手法である。入口は Ave. G に開き、深さ約 1m の玄關 j がある。入口をは入るとコート i に出る。小石敷で例によつて排水管が出入口の下を通つて通りに排水する。コートの突當りに Pastas, e には入る扉がある。コートとの境は通例みられるような柱ではなく、壁であるから、ここには當然窓があつた筈である。西端に2個の祭壇が出土している。これはオリュントスの守護神アポロンのためのものである。andron, d の床は黄色に塗られ、中央には大理石のモザイクがある。寢椅子をおく壇は中央部より 6cm 高く、壁は漆喰であつた。

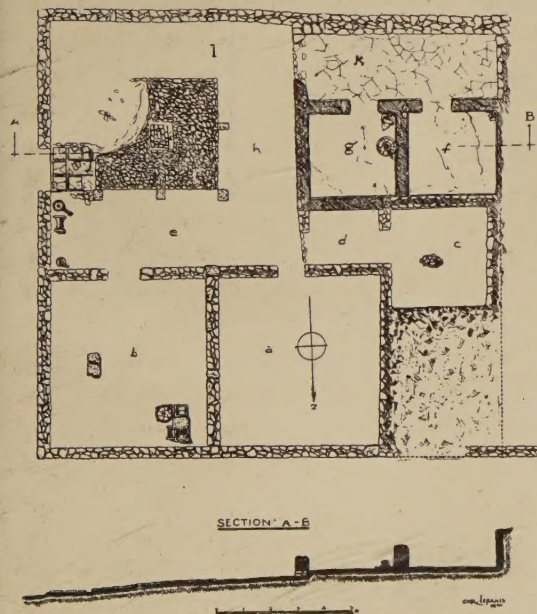
f はその前室である。c は床がやはりセメントで鋪装され、黄色にぬられ、南東隅に水溜があつて、これは床を洗つた水をここに集めて汲み出したものである。a は寢室とみられ、b は押入のようなものである。

oecus は k で 5.65m×5.25m の大きさであつてコートから出入する。中央に方 84cm の爐があり、石で囲まれている。g は浴室であり、h は臺所で中央に幅 70cm、深 50cm の溝があり、煮炊きのためのものとみられる。m は物置で床が 90cm 程低く階段で下りるのであつた。

この家で注意すべきものはコートの南にある1である。4m×6mで北の境には柱礎があり、又室の中に水槽がある。コートに面した柱廊の一種で、それが南の壁面に接しているの、発掘者は夏期に使用する exdra であろうとみている。家の名は各部屋に多くの色が使われていることに由っている。



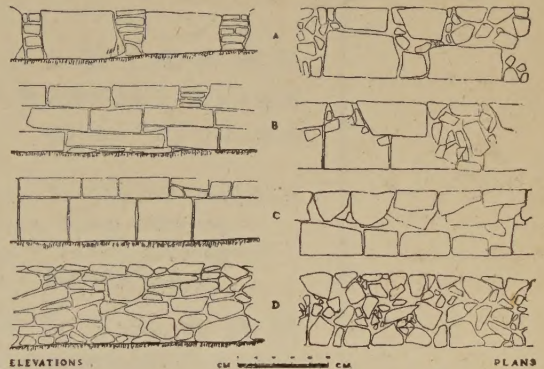
第24圖 The House of Many Colors (平面圖)



第25圖 The House of the Tiled Prothyron

House of Tiled Prothyron (第25圖)

上記の Villa の南方一軒おいた隣にある。Ave. G と St. - II に面する角地で、入口はやはり Ave. G に開いている。ここは三列にタイルを敷いた玄関 j があつて、これが家の名の由來する所であつた。入口をは入るとコート i に出る。中央に祭壇の基礎があり、四周に Peristyle があり、コートと合わせて全體の三分の一を占める廣いものであり、その北に Pastas e がある。Pastas に面して大きな部屋 a, b があり、a からは祭壇が3個出土し、宗教的な用途を考えさせ、或いはここは僧侶の家ではなかつたかといわれている。b は a に対する事務室であろうという。このような公的な色彩に對して k, g, f は完全に他から隔離された私的な部分であり、床も h より高い。推定された僧侶の私生活の場であろうとみられる。d 及び c は倉庫とされている。—(1951, 2, 10)—



第26圖 壁體基礎の積み方

附記 この紹介は發掘報告書第 12 卷 (註 3) に據るものである。その後發掘者ロビンソン教授から報告書第 8 卷を惠贈されたので、別の機会に本稿を補いたいと思う。(1951. 6. 11)

Acknowledgments: I have to thank the Royal Ontario Museum of Archaeology for excellent photographs of a restored model (Fig. 1) who has given me permission to reproduce them. Particularly Prof. David M. Robinson to whom this article owes more than to any other has allowed me to make use of his many precious plates in his report Vol. XII (Fig. 2-26, except Fig. 12) and moreover he has kindly let me have a copy of his report Vol. VIII, for which I am heartily grateful in every tangible sense. And to offer him my congratulation on his seventieth birthday on this occasion is my great pleasure and honor alike.

昭和26年7月30日印刷

昭和26年7月31日發行

發行者 日本大學工學研究所
東京都千代田區神田駿河台1丁目8番地
電話神田(25) 7141—7149

Published by : The Research Institute of
Technology, Nihon University.
Address : No. 8, 1-Chome, Surugadai,
Kanda, Chiyoda-ku, Tokyo.

印刷所 國際文獻印刷社
東京都中央區日本橋茅場町2丁目10番地
印刷者 笠井康賴
東京都中央區日本橋茅場町2丁目10番地

【非賣品】

